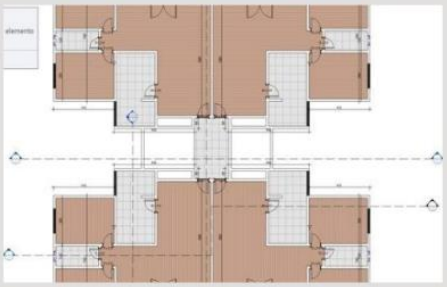
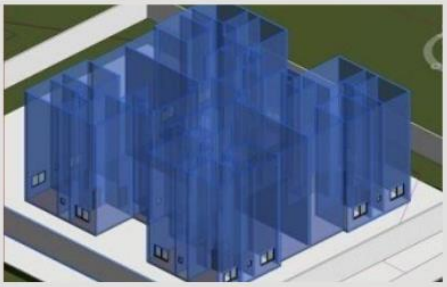
Building Information Modeling (BIM)

PRINCÍPIOS & TENDÊNCIAS





Organizadores

Maria Aparecida Fernandes Almeida

Everaldo Bonaldo

Editora Poisson

Organizadores
Maria Aparecida Fernandes Almeida
Everaldo Bonaldo

Building Information Modeling (BIM)
Princípios e Tendências

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2023

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
M.Sc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B932

Building Information Modeling (BIM) - Princípios & Tendências/ Organizador: Maria Aparecida Fernandes Almeida, Everaldo Bonaldo – Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2023

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-266-2
DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. ALMEIDA, Maria Aparecida Fernandes II. BONALDO, Everaldo III.Título

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

Prefácio

Começo este prefácio ao ressaltar a minha satisfação pelo convite para escrever este Prefácio. Fui apresentada ao BIM - Building Information Modeling, no ano de 2020, ao integrar a equipe da pós-graduação lato sensu da PUC Minas, juntamente com os organizadores deste livro, Professores Maria Aparecida Fernandes Almeida e Everaldo Bonaldo.

A ideia surgiu em 2012 com a oferta do curso de Especialização em "Construção Civil Enxuta - Lean Construction", através do IEC - Instituto de Educação Continuada e naquele momento, foi planejado para atingir um público diversificado, com abordagem em tecnologias e processos produtivos, qualidade, gestão ambiental, gestão de custos, marketing, logística, gestão de projetos e ferramentas da produção enxuta na Construção Civil.

Com o Decreto no. 9.377, de 17 de maio de 2018, que instituiu a "Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling", chamada de "Estratégia BIM BR", o curso foi remodelado para essa demanda e em 2019, a primeira turma do curso de Especialização em BIM foi ofertada pelo IEC - Instituto de Educação Continuada.

Em 2021, o curso foi lançado, também, pela PUC Virtual em três versões: BIM Manager; BIM - Projetos Paramétricos e Design Digital aplicados à Construção Civil; e BIM - Projetos de Infraestrutura.

Além da motivação gerada pelo Decreto, em que expõe a obrigatoriedade de implantação do BIM, é fato que há uma demanda latente por capacitação dos profissionais do setor. A Construção Civil é considerado como a maior indústria do mundo, responsável por 13% do PIB Mundial, segundo a Consultoria Mckinsey Global Institute (2020), e um dos maiores mercados de trabalho existentes. No entanto, ainda de acordo com esta Consultoria, encontra-se "atrasado" em relação aos outros setores, o que se refletiu no ínfimo 1% ao ano de crescimento da produtividade nas duas últimas décadas, sendo via de regra: o atraso no prazo dos projetos e o estouro em seus orçamentos. No Brasil, o setor também apresenta relevante participação no PIB. De acordo com a CBIC - Câmara Brasileira da Industria Civil, em 2020, a indústria representou 3,3%, sendo este o menor

percentual desde 2000. Várias causas são apontadas para essa performance, dentre as quais estão: a demanda cíclica, complexidade dos projetos, forte participação de mão de obra braçal e informal e a carência de profissionais qualificados, mesmo a Indústria da Construção sendo altamente regulamentada por licenças, controles e normativas em diversos âmbitos.

Este livro, estruturado em oito capítulos, traz considerações propícias para este cenário e este momento, a Era da Transformação Digital, e nos induz a compreender sobre os requisitos e competências necessárias para uma utilização eficaz do BIM. Além disso, demonstra alguns desafios não só vistos no Brasil, mas em todo mundo, como a dificuldade na troca de dados, a falta de confiança e de nivelamento tecnológico entre os membros da cadeia, alinhamento insatisfatório dos processos internos e interorganizacionais, alto custo das licenças do BIM e o mais crítico: como conscientizar toda a cadeia sobre os benefícios esperados na Governança proposta pelo BIM, e justificar todo investimento e mudanças necessárias?

Portanto, finalizo esse prefácio desejando uma leitura prazerosa e rica em reflexões e aprendizado!

Profª. Drª. Carolina dos Santos Nunan

Organizadores

Maria Aparecida Fernandes Almeida

Técnica em Química Industrial, graduada em Engenharia Industrial Elétrica (ICMG, 1994), Mestre em Engenharia Elétrica (UFSC, 1997), Mestre em Ciência da Computação (UFSC, 1999), Doutora em Ciência da Computação (UFSC, 2002) e Doutora em Engenharia Elétrica (UFSC, 2011). Especialista em BIM e Especialista em Engenharia de Tráfego (UNICV, 2022). Atua na coordenação adjunta dos cursos de Pós-graduação em "Building Information Modeling" (BIM) - Modelagem da Informação da Construção da PUC Minas. Desenvolve pesquisas em Simulação Multiparadigmas, Inteligência Artificial, Realidade Virtual e Building Information Modeling (BIM) nos departamentos de Engenharia de Produção e Engenharia Civil da PUC Minas.

Everaldo Bonaldo

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (1999), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2001) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade do Minho (2008)*. Atualmente é Chefe do Departamento e Coordenador do Curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Atuou como Analista de Planejamento e Fiscalização de Obras da gerência de expansão da Companhia Espírito Santense de Saneamento e como Coordenador de Controle da Qualidade da Bredero Shaw Revestimentos de Tubos Ltda. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas de Concreto, atuando principalmente nos seguintes temas: ensaios de laboratório, materiais compósitos, recuperação e reforço de estruturas de concreto, pré-fabricação e cascas. *Diploma com reconhecimento da USP-SP

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução ao BIM 08

Maria Luisa Ribeiro Antunes, Denise Aurora Neves Flores

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.01

Capítulo 2: Modelagem paramétrica 24

Manfredo Frederico Felipe Hoppe, Cecília Aguiar Domingues, Gabriela Leandro da Cruz

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.02

Capítulo 3: Gerenciamento de processos aplicado ao building information modeling 47

Denise Aurora Neves Flores, Maria Luísa Ribeiro Antunes

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.03

Capítulo 4: Gerenciamento de projetos aplicado ao building information modeling 63

Denise Aurora Neves Flores, Maria Luísa Ribeiro Antunes

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.04

Capítulo 5: Modelo de sustentabilidade e análise energética (BIM 6D) 81

Maria Luisa Ribeiro Antunes, Denise Aurora Neves Flores

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.05

Capítulo 6: Auditoria, normalização e certificação CUB-E 98

Janaina Madureira Gosling, Ana Flávia Barcelos Chaves, Rafael Ferreira Fernandes, Lucas da Silva Faleiro Andrade, Rafael Aredes Couto, Everaldo Bonaldo

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.06

Capítulo 7: BIM e mundo virtual: a real da construção civil 115

Maria Aparecida Fernandes Almeida, Everaldo Bonaldo

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.07

Capítulo 8: A modelagem do conhecimento da construção (BKM) e o BIG DATA BIM 142

Maria Aparecida Fernandes Almeida, Everaldo Bonaldo

DOI: 10.36229/978-65-5866-266-2.CAP.08

Capítulo 1

Introdução ao BIM

Maria Luisa Ribeiro Antunes
Denise Aurora Neves Flores

Resumo: De acordo com o Fórum Econômico Mundial o Building Information Modeling (BIM) integrado representa a tecnologia da indústria 4.0 com maior probabilidade de impacto futuro na construção civil. De fato, o sistema BIM se consolidou na esfera pública brasileira inspirado nas iniciativas da governança internacional. Em 2018, foi publicada a estratégia BIM BR com o objetivo mister de disseminar o BIM e apresentar as metas da governança nacional para os anos de 2021, 2024 e 2028. Atualmente, o documento evoluiu para o Decreto Federal 10.306 (2020) desafiando toda a cadeia produtiva do segmento AECO no atendimento às licitações públicas. Assim como nos demais países que aderiram ao sistema BIM, as ações top down brasileiras refletem a eficácia das políticas públicas e demonstram a aderência da cadeia produtiva aos processos de trabalho colaborativo e às novas tecnologias embarcadas, que fomentam a transformação da indústria da construção civil. Alinhado à estratégia de capacitação dos profissionais da arquitetura e engenharia, o presente capítulo abordará os conceitos fundamentais do sistema BIM e, nesta direção, embasarão os capítulos seguintes. Neste contexto, o BIM será abordado como presente e não mais como futuro, uma vez que representa um multiverso que acontece agora e provoca a cadeia produtiva AECO a pensar grande, começar pequeno e agir rápido.

Palavras-chave: Building Information Modeling (BIM). Decreto Federal. Cadeia produtiva.

1. INTRODUÇÃO

A indústria atual é caracterizada, especialmente, pela informação digital que tem como essência, a capacidade de sustentar a comunicação entre máquinas, dispositivos e pessoas. Essa interoperabilidade possibilita simulações, análises, controles e trocas de volumes expressivos de informações, com eficácia e precisão.

A indústria da construção civil é reconhecida, mundialmente, como uma das mais atrasadas na tecnologia da informação (MCKINSEY, 2016). Um dos motivos que reforçam os desafios do setor, alinhado ao novo contexto tecnológico, está relacionado a sua natureza de sua fábrica.

Diferentemente das indústrias tradicionais, a cada novo produto (projeto) da indústria da construção civil, o endereço de sua fábrica muda, demandando a idealização do processo de produção customizado às características de cada *site* como topografia, infraestrutura existente e entorno limítrofe (Figura 1).

Em grande parte, a linha de produção nos canteiros de obra sofre com as restrições espaciais e pela sua natureza dinâmica, uma vez que o *layout* da fábrica fica sujeito a alterações, à medida que o projeto (produto) vai ganhando forma. Além do caráter subjetivo de seus produtos, a indústria da construção civil ainda não é, geralmente, contemplada pela produção automatizada e possui alto percentual de processos de trabalho caracterizados, ainda, pela natureza artesanal.

Figura 1 – Fábrica da construção civil

Fonte: MRV (2021)

Em 2016, o *World Economic Forum* (2016) considerou o *Building Information Modeling* (BIM) integrado a tecnologia de maior probabilidade de impacto futuro na indústria da construção civil. Para que o BIM seja, de fato, uma realidade o desafio não é pequeno, porém os inúmeros benefícios renovam os votos de compromisso com as gerações futuras.

2. O CICLO DE VIDA APLICADO À CONSTRUÇÃO CIVIL

O cenário tecnológico mundial propõe uma disruptura dos processos de trabalho na arquitetura e engenharias, da mesma forma que ocorreu nos anos 1990, com a

substituição da prancheta física para a prancheta digital (CAD). Os métodos de desenho, até então, abordavam o projeto como uma representação gráfica da solução desenvolvida.

Utilizando-se o sistema BIM, o produto passa a ser uma reprodução fiel dos objetos reais contendo parâmetros geométricos, além de informações capazes de fundamentar simulações virtuais em todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, desde a sua concepção até a sua desconstrução (Figura 2).

Figura 2 – Ciclo de vida de um empreendimento da construção civil

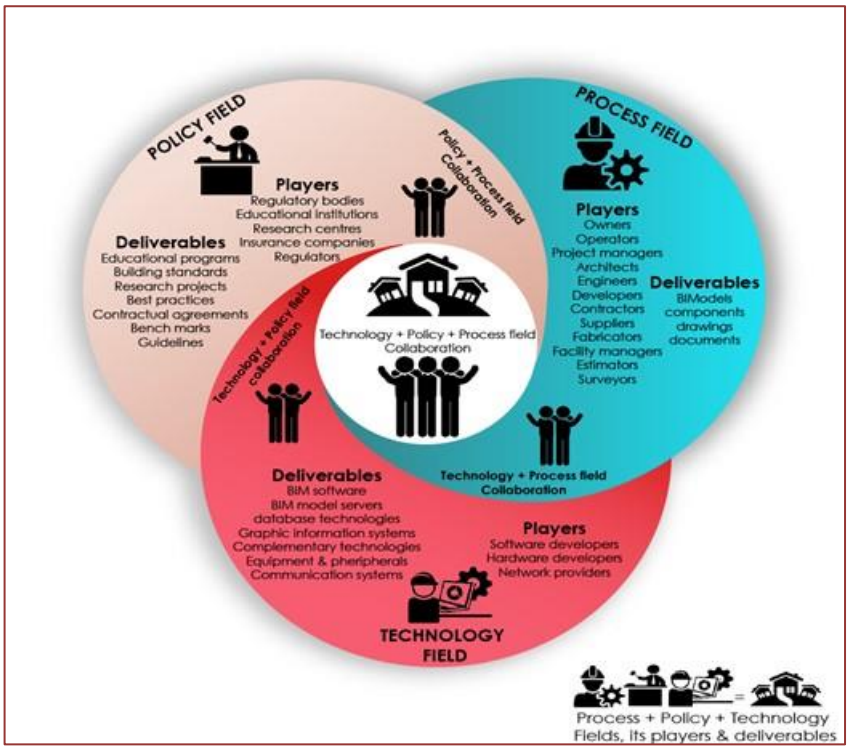
Fonte: CBIC (2016)

Os benefícios possibilitados pela tecnologia BIM, associados aos novos processos de trabalho colaborativos e integrados, tem como objetivo *mister* garantir; melhor nível de qualidade do projeto, na Fase de Concepção e Projetação (Pré-obra); aumento de produtividade, redução de custos, desperdícios e retrabalho na Fase Construtiva (Obra), além de melhor controle e monitoramento de desempenho do projeto, na Fase de Operação (Pós-obra).

3. CAMPOS FUNDAMENTAIS DO BIM

De acordo com Succar (2009), o BIM pode ser compreendido como um conjunto de Tecnologias, Processos e Políticas (Figura 3), que quando integrados permitem a criação, a utilização e a atualização dos modelos digitais de um empreendimento, de forma colaborativa possibilitando a interoperabilidade entre os agentes envolvidos, ao longo do ciclo de vida de um empreendimento.

Figura 3 – Três campos fundamentais do BIM



Fonte: Succar, 2009 (modificado)

3.1. TECNOLOGIAS BIM

O campo tecnológico do BIM é constituído por *softwares, hardwares e networks*. Uma vez que no sistema BIM a tecnologia caminha, paralelamente, com a interoperabilidade. Para garantir este princípio básico, os *softwares* demandam uma estrutura de dados específica, relacionada com programação orientada a objetos.

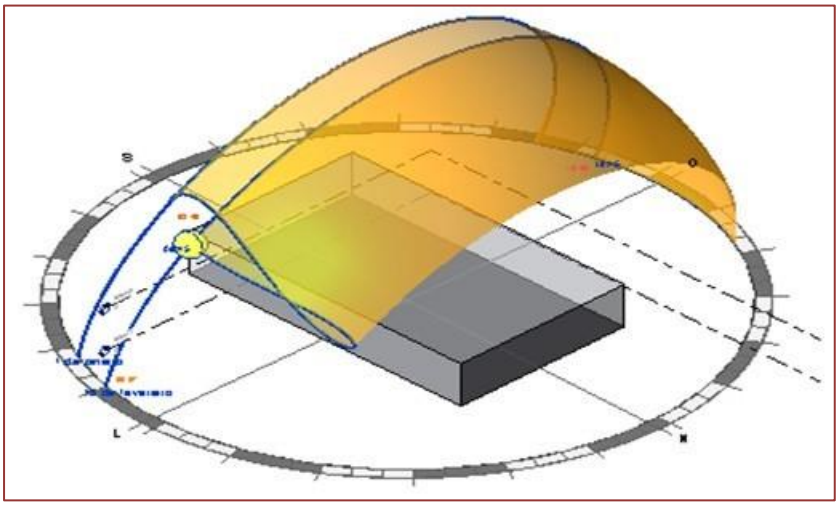
Originalmente, a *International Alliance for Interoperability* (IAI), entidade constituída por empresas internacionais de vários setores, iniciou ações com a missão de definir, promover e publicar especificações para intercâmbio de dados sistemáticos levantados ao longo do todo ciclo de vida de um empreendimento, em todo o mundo, entre as diferentes disciplinas envolvidas.

Em 2006 esse consórcio passou a ser chamado de *BuildingSmart* (BS), com o objetivo principal de criar padrões abertos de BIM (*OpenBIM*), hospedar Fóruns de discussões, certificar *softwares* BIM e promover o uso ativo da tecnologia BIM aplicada a indústria da construção civil. Pode-se dizer então que, utilizando a tecnologia BIM, o projeto nasce "digitalmente inteligente", ou seja, desde a concepção pode-se incorporar, além da geometria, dados que permitem simulações em qualquer fase do ciclo de vida de um empreendimento. Na Figura 4 ilustra-se a simulação de um Modelo BIM desenvolvido pela Turma 1 de BIM *Manager* do Programa de Pós-graduação da PUC Minas (2020), utilizando a suíte *Autodesk* (*Revit* + *Greenbuilding Studio* + *Insight* 360), ainda na fase de Estudo Preliminar de projeto.

Os alunos modelaram, diferentes Partidos Arquitetônicos (estudo de massas) que contemplavam uma edificação de tipologia comercial, no *software* de modelagem arquitetônica *Revit.* Inserindo o referenciamento geográfico de *site* específico, foram

realizadas as simulações de performance energética do empreendimento, alterando-se orientações de implantação, além analisar o comportamento dos diferentes Partidos em diferentes projeções horizontais ainda que atendendo ao mesmo coeficiente de aproveitamento (área construída).

Figura 4 – Simulação na fase de Estudo Preliminar



Fonte: Revit, 2021(adaptado)

Os relatórios de análise gerados pelas simulações, fundamentaram o processo decisório que tinha como objetivo aprovar o Partido Arquitetônico e a orientação geográfica que contemplava o menor consumo energético possível.

3.1.1. INTEROPERABILIDADE

A governança mundial reconheceu a importância do sistema BIM, especialmente, pelo cumprimento ao princípio básico de isonomia dos processos licitatórios, possibilitados pelo arquivo neutro e padronizado (IFC). Várias iniciativas *top / down* ocorreram a partir de 2010 promovendo iniciativas na esfera pública.

Vantagens como a extração de quantitativos fidedignos e orçamentos precisos, possibilitam a redução dos aditivos contratuais, aliados à possibilidade de eliminar os de erros na fase de projetação, fazia do sistema BIM uma ferramenta eficaz de gestão pública, inclusive, a longo prazo (fase operação e manutenção).

De acordo com MacGraw-Hill (2007), o conceito de interoperabidade está relacionado a capacidade de gerenciar e trocar dados digitalmente, uma característica marcante do sistema BIM. A interoperabilidade dos *softwares* BIM ocorre por meio do formato neutro, o *Industry Foundation Classes* (IFC).

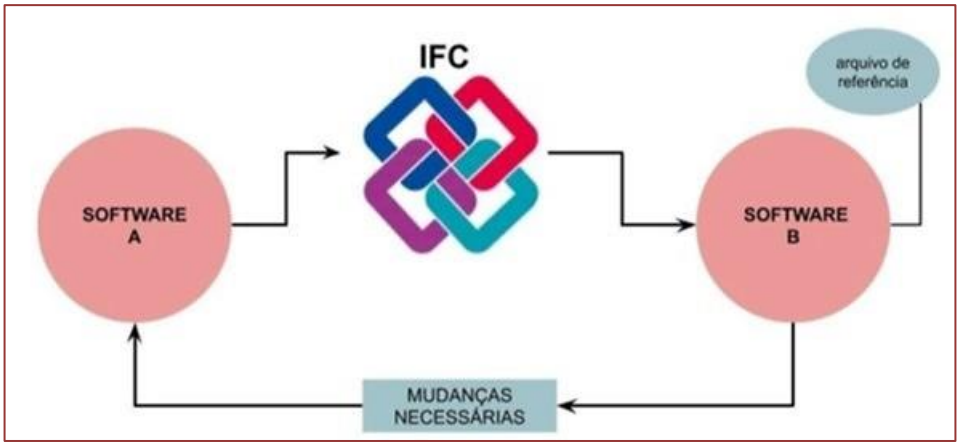
3.1.2. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

O IFC é um conjunto de definições formado de classes, atributos e relacionamentos entre elementos oriundos de programação orientada a objetos (TOO), que corresponde ao modelo de dados aplicado para a indústria da construção e permite o compartilhamento de informações.

A linguagem utilizada pelo IFC é a EXPRESS, padrão adotado pela BS fundamentado na ISO 16739-1:2018, uma vez que a entidade tem parceria com a *International Organization for Standardization* (ISO), *European Committe for Standardization* (CEN) *e Open Geospatial Consortium* (OGC). A ISO 16739 orienta o desenvolvimento de escrita, direcionada para a modelagem de produtos do IFC.

Atualmente, as certificações oferecidas para *softwares* BIM pela BS são a IFC 2X3 (2006 a 2013) e a IFC 4 (versão 4.1, 4.2 e 4.3). Na Figura 5 ilustra-se o fluxo de trabalho IFC, na prática do setor AECO.

Figura 5 – Fluxo de Trabalho IFC



Fonte: Plataforma BIMBR (2020)

Além do IFC, surgiram outros parâmetros que auxiliam na sua classificação, como o *Model View Definitions* (MVD), o *BIM Collaboration Format* (BCF), o *Information Delivery Manual* (IDM) e o *Information Framework for Dicitionaries* (IFD).

3.1.3. MODEL VIEW DEFINITIONS (MVD)

O MVD é um subconjunto do esquema IFC utilizado para descrever uma troca de dados demandada por um fluxo de trabalho específico. Para isto, se faz necessário determinar as informações cujo compartilhamento é necessário, entre cada agente envolvido, para que os arquivos descrevam corretamente os objetos, as representações, os relacionamentos, os conceitos e os atributos, de modo que a parte interessada receptora e sua ferramenta (*software*) possa realizar o seu trabalho.

3.1.4. BIM COLLABORATION FORMAT (BCF)

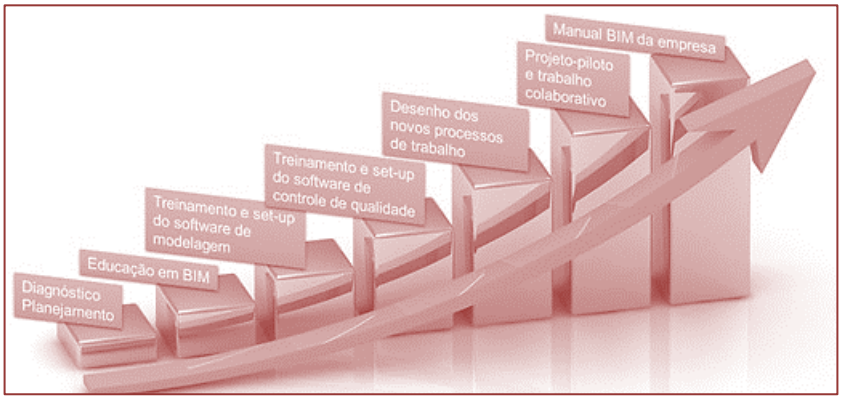
O BCF é um formato de arquivo aberto que identifica e comunica conflitos ou inconsistências nos modelos BIM por meio de comentários textuais, capturas de tela do Modelo IFC, facilitando a comunicação entre os diversos agentes envolvidos no projeto e auxiliando os processos de trabalho multidisciplinares integrados.

3.2. PROCESSOS BIM

O campo Processos BIM, abrange não somente os processos de trabalho de cada entidade, denominado Plano de Implementação BIM (PIB) ou Plano de Adoção BIM, a serem adotados como também os processos interempresariais.

Na Figura 6 ilustra-se o modelo de Manzione (2013) destacando as etapas de um PIB envolvendo desde o diagnóstico até o desenvolvimento do Manual BIM da empresa, ou BIM *Mandate*.

Figura 6 – Etapas PIB



Fonte: Manzione (2013)

A primeira publicação governamental brasileira de BIM, foi o Caderno de Especificações de Projetos do Governo Estadual de Santa Catarina (SC), que passou a licitar projetos a partir de 2015. O atendimento ao Manual BIM da empresa contratante, do objeto contratado e da elaboração do PEB, fica a cargo do BIM *Manager*, que absorve a responsabilidade de promover o controle de qualidade do Modelo com foco no objetivo final do projeto. Baseados nos fluxos *Business Process Model Notation* (BPMN), os processos de trabalho multidisciplinares devem contemplar o uso BIM definido. Ou seja, a cada novo produto (projeto) deve-se elaborar um Plano de Execução BIM (PEB).

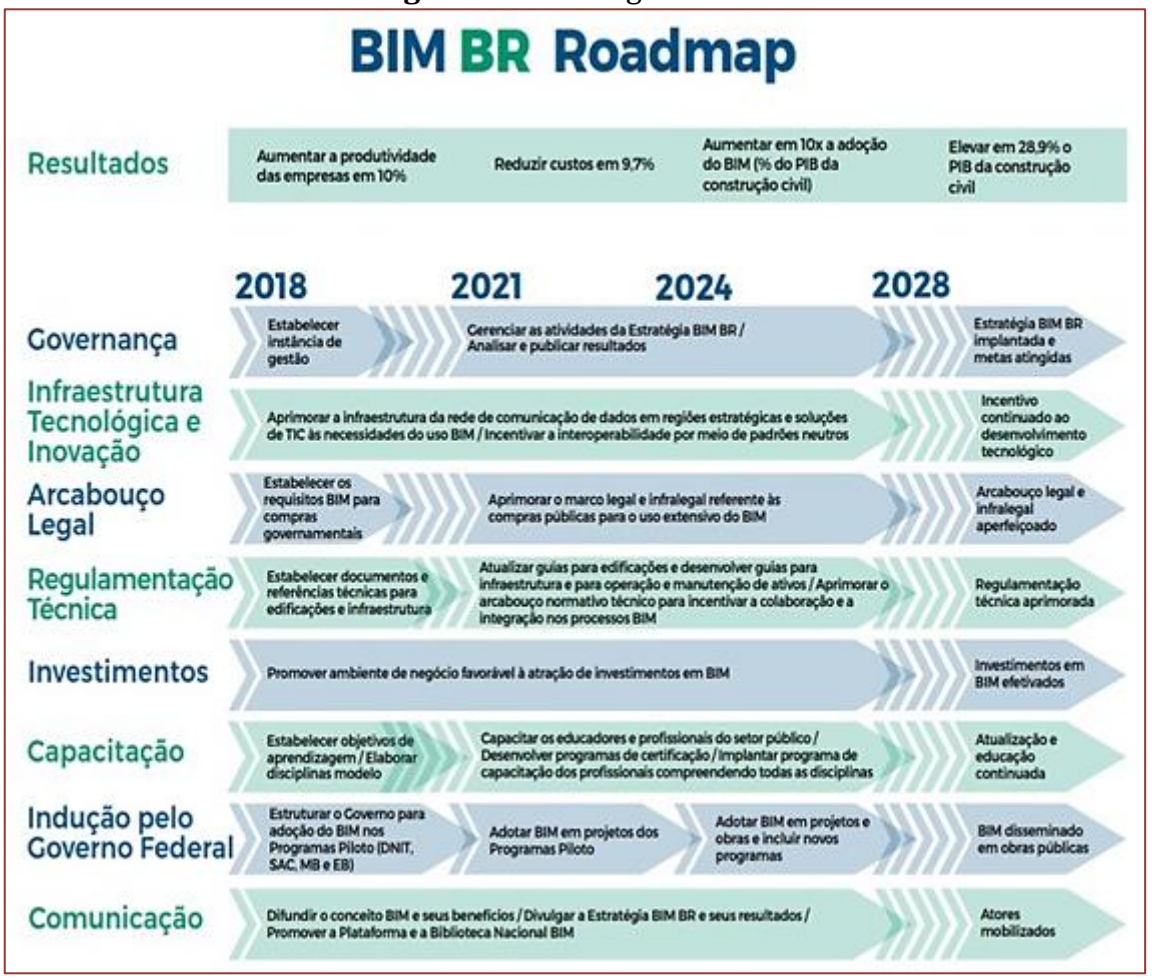
O BIM *Manager* deve desenvolver também, as estratégias de comunicação, integração, coordenação entre os diversos *stakeholders* envolvidos, além de representar o elo entre as gerências horizontal e vertical da entidade.

3.3. POLÍTICAS BIM

Inicialmente, no Brasil, foi criado uma Comissão de Estudo Especial (ABNT/CEE-134) com o objetivo de normalizar o BIM, proposta pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

Em 2017, o Comitê Estratégico de Implementação do BIM tinha o objetivo de desenvolver a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, que teve como resultado o Decreto 9.377, com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento BIM e a sua difusão a nível nacional (Figura 7).

Figura 7 – Estratégia BIM BR



Fonte: Governo Federal do Brasil (2018)

3.3.1. COMISSÃO DE ESTUDOS ESPECIAIS (CEE-134)

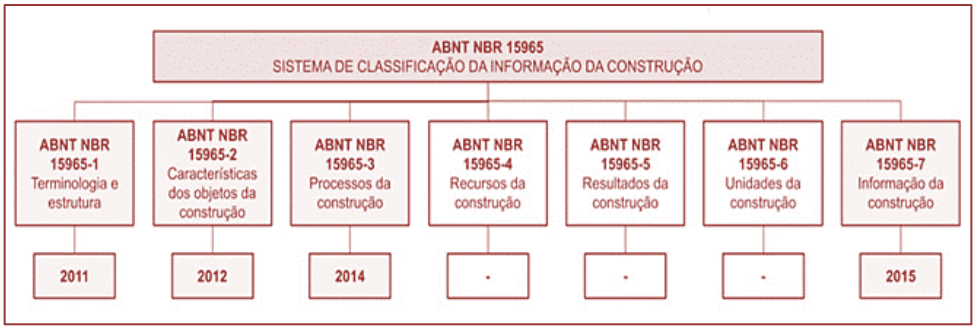
A comissão dividiu o trabalho em três etapas.; a tradução da ISO 12006-2; o desenvolvimento de um sistema de classificação para a construção e por fim, um sistema para criação de componentes BIM.

Iniciava-se, assim, a criação da primeira norma brasileira de BIM, a ABNT NBR 15965-7 “Sistema da Classificação da Informação da Construção”, que se relaciona com o sistema de classificação da *Ominclass* (*Construction Classification System*). A Norma foi estruturada em sete partes (Figura 8), das quais, até o momento foram publicadas quatro.

A finalidade da norma é facilitar a comunicação entre os agentes da cadeia produtiva da construção civil brasileira.

Dando continuidade ao terceiro tema de trabalho, desenvolveu-se as diretrizes para componentes BIM, culminando na ABNT/NBR 16354 "Diretrizes para as bibliotecas de conhecimento e biblioteca de objetos" e na ISO 16757 "Estrutura de dados para catálogos eletrônicos de produtos para sistemas prediais", ambas publicadas em 2018.

Figura 8 – ABNT NBR 15965-7

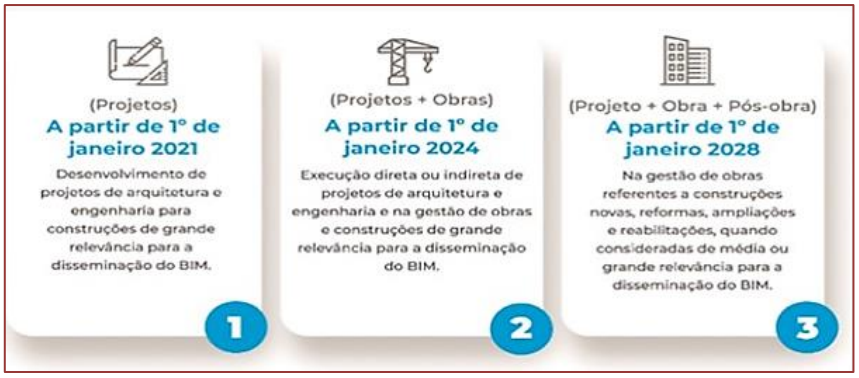


Fonte: Plataforma BIM BR (2020)

3.3.2. DECRETO FEDERAL 10.306/2020

Visando o atendimento ao primeiro grande Marco previsto para 2021, o governo federal publicou em 2 de abril de 2020 o Decreto 10.306, apresentando a nova configuração da estrutura administrativa definindo os critérios para o atendimento à Fase I (2021), Fase II (2024) e Fase III (2028), na esfera pública nacional (Figura 9).

Figura 9 – Decreto 10.306/2020



Fonte: Revista Construa (2020)

A Fase I com início em 01/01/2021, determina que o sistema BIM deverá ser utilizado no desenvolvimento de projetos de Arquitetura e Engenharia, referentes a construções novas, ampliações ou reabilitações, abrangendo as disciplinas de estruturas e instalações hidráulicas, de aquecimento, ventilação e ar-condicionado e elétricas, detecção de interferências, extração de quantitativos e geração de documentação gráfica.

A Fase II com início em 01/01/2024, determina que o sistema BIM deverá ser utilizado na execução direta ou indireta de projetos de Arquitetura e Engenharia e na gestão de obras, referentes ã construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações,

abrangendo os usos previstos na primeira fase, além de orçamentação planejamento e controle de execução de obras e a atualização do modelo e suas informações (*As-Built*), para as obras cujos projetos de Arquitetura e Engenharia tenham sido realizados ou executados com aplicação do BIM.

A Fase III com início em 01/01/2028, determina que todas as demais ações previstas nas primeira e segunda fases deverão ser acrescidas do gerenciamento e a manutenção do empreendimento, após a sua construção.

4. PUBLICAÇÕES BIM NACIONAIS

A adoção do sistema BIM tem sido crescente, não somente a governança, mas na iniciativa privada que também demonstrou permeabilidade à mudança, em toda a cadeia produtiva do setor. Para auxiliar essa aderência, entidades governamentais e não governamentais brasileiras, tem desenvolvido conteúdos com o objetivo de orientar os profissionais da indústria nacional (Figura 10).

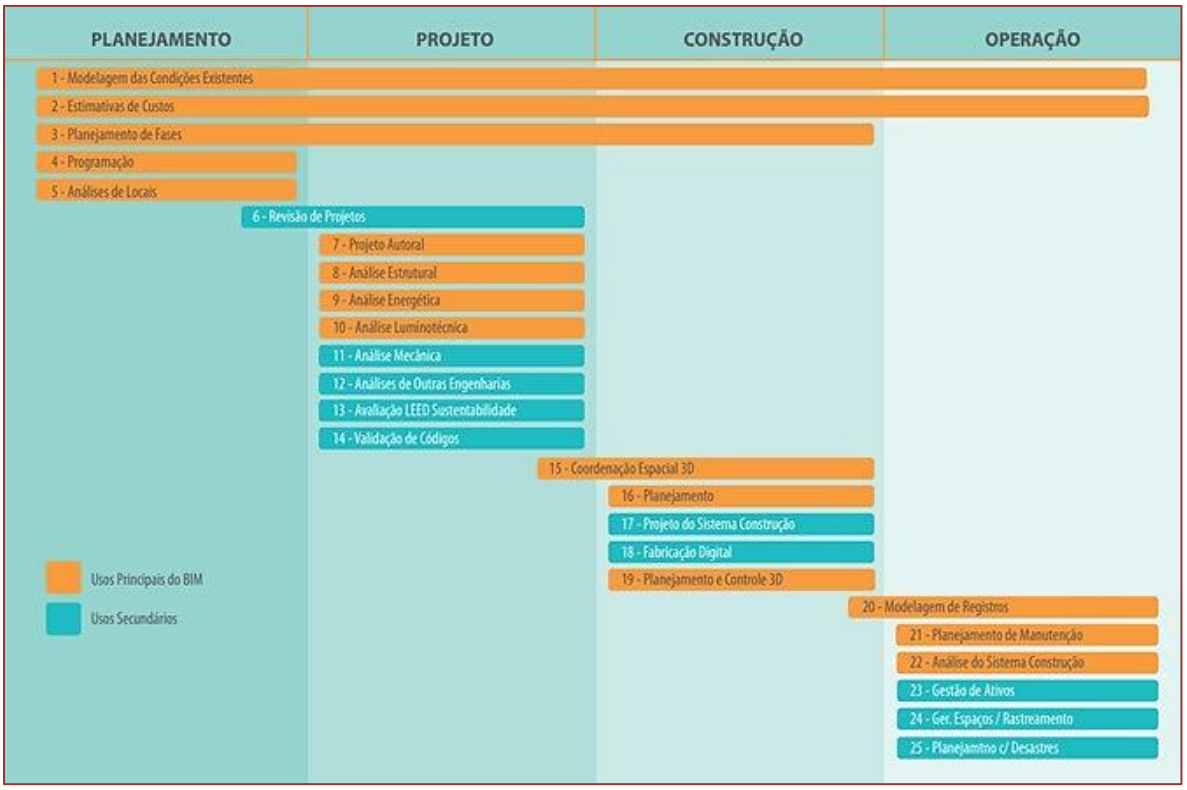
Figura 10 – Publicações nacionais (2015 a 2020)

Fonte: AsBEA (2015), Governo Estadual de SC (2015), CBIC (2016), ABDI (2017), Governo Estadual PR (2018), Plataforma BIM BR (2019), Governo Municipal SP (2020), Ministério Público do DF (2020)

Algumas publicações nacionais foram inspiradas no guia da Universidade da *Pennysilvania* que publicou um trabalho pioneiro em 2009 (atualmente na versão 2.20), o *BEP - BIM Execution Plan Guide,* propondo 25 usos do BIM, classificados em primários e secundários, ao longo do ciclo de vida (Figura 11). O guia ainda apresenta, em seus Apêndices, os respectivos *templates* dos fluxos de trabalho multidisciplinar (BPMN), customizados para cada um dos vinte e cinco usos BIM mapeados. O guia exerceu forte influência também no Chile, que publicou sua Norma BIM em 2018, acrescentando diferentes tipos de informação ao longo do ciclo de vida, customizada aos 25 usos do BIM.

Em 2015, a Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) lançou dois fascículos citando o material da *Pennysilvania*. No ano seguinte, a CBIC publicou a coletânea "Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadora" (composta de seis volumes) mencionando os 25 usos BIM, inclusive no sentido reverso, destacando esforços relacionados ao Ambiente Construído (Fase Operação), considerando o novo cenário disruptivo.

Figura 11 – Usos BIM ao longo do ciclo de vida



Fonte: Pennsylvania University, 2009 (adaptado)

Em seguida, em 2017, a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) divulgou a Coletânea "Guias BIM ABDI-MDIC" (seis volumes) apresentando uma abordagem diferenciada ao sistema BIM, até então. Especialmente, em relação às "n" dimensões do BIM (Figura12) e ao LOD (*Level of Development*) e ao LOi (*Level of Detail*). A partir deste episódio, foram constatadas dificuldades de compreensão pelo mercado, nos processos licitatórios nacionais, um dos motivos pelo qual o Governo Estadual de SC publicou o 2º Caderno de Especificações BIM em 2018.

A ABDI lançou, alinhada a Estratégia BIM BR, a Plataforma BIM BR disponibilizando a Biblioteca Nacional de objetos BIM e promovendo ações, de diversas naturezas, com o objetivo de fomentar a capacitação profissional dos arquitetos e engenheiros do Brasil e, acima de tudo possibilitar, por meio de uma plataforma digital, o acesso a conceitos e terminologias BIM que fundamentam as políticas nacionais vigentes.

Na sequência, nota-se iniciativas em outros estados brasileiros, como no setor habitacional do governo municipal de São Paulo que publicou o Caderno de Projetos em BIM (junho/2020), além do Ministério Público do Distrito Federal com o lançamento do Caderno de Projetos e de Gestão de Edificações em BIM (dezembro/2020).

Figura 12 – Dimensões BIM

Dimensão do desenvolvimento	Descrições	Impacto do stakeholder
3D	Consiste dos dados bi ou tridimensionais dos projetos das edificações. BIM 3D pode ser definido como "apresentação geométrica, descrições paramétricas e normativas legais associadas com a construção de um edifício"	Equipe de Projeto, Fornecedor
4D (3D +Tempo)	Conecta a informação relacionada à programação/tempo aos elementos do modelo 3D de forma sequenciar o processo da construção ao longo do tempo	Construtor, Sub-empreiteiro
5D(3D+Custo)	Adiciona informação relacionada a custo aos elementos do modelo 3D. Isto permite agilizar a extração de quantidades e orçamento diretamente do modelo 3D	Levantador de Quantidades
6D (3D + FM)	Integra a informação de FM e ciclo de vida. 6D está relacionada com a informação do ativo útil para os processos de FM, mas após 5D não existe consenso nas dimensões alcançadas na literatura	Facility Manager, Proprietário
nD (3D + ... nD)	Outras dimensões possíveis associadas com modelo BIM	Pode ser relacionado a qualquer stakeholder citado

Fonte: ABDI (2017)

4.1. BIM MANDATES

O BIM Mandate é um documento de suma importância, no sistema BIM, uma vez que contempla informações com o objetivo de garantir a entrega de um Modelo BIM, compatível com o padrão estabelecido por alguma autoridade (governos, ministérios ou entidades) com valores adequados para vários usos BIM.

Na esfera governamental, o Estado de Santa Catarina foi pioneiro no desenvolvimento do 1º Caderno de Especificações BIM (2015) que desenvolveu um padrão mandatório para elaboração de Projetos Autorais (BIM 3D), Planejamento Físico (BIM 4D) e Orçamentação (BIM 5D). O Caderno de Especificações BIM, contempla desde as fases clássicas de desenvolvimento de projetos e construção até a conclusão da obra (Projeto *As-Built*).

Já o Estado do Paraná vinha elaborando seu Caderno de Contratação de Projetos BIM, concretizado em 2018.

As iniciativas desencadearam publicações em outros estados brasileiros como exemplo; Cadernos do Governo Municipal de São Paulo (2020) e o Caderno de Projetos e de Gestão de Edificações em BIM, publicado pelo Ministério Público do Distrito Federal (2020), por meio da Secretaria de Projetos e Obras (SPO).

5. NÍVEL DE INFORMAÇÃO / NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO

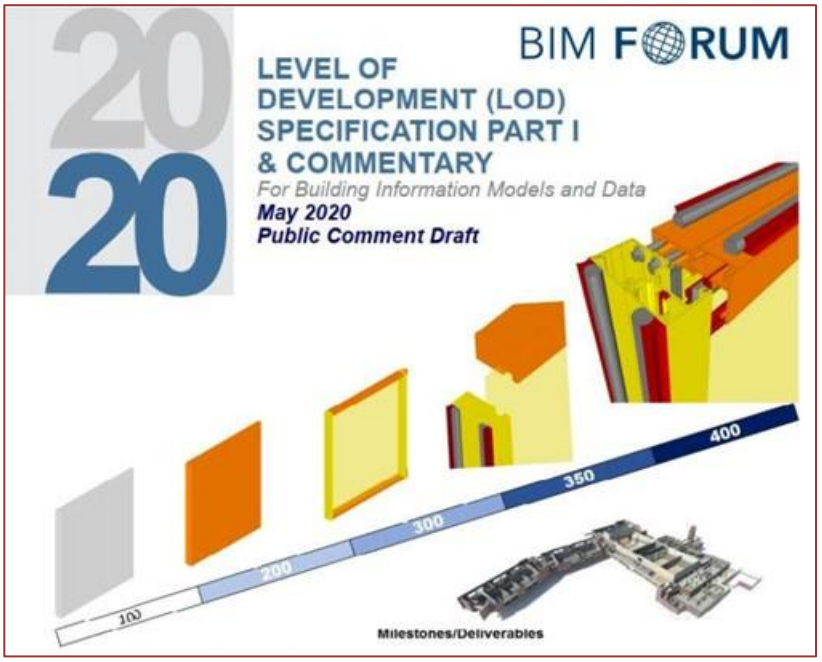
Tradicionalmente, os conceitos de *Level of Development* (LOD), traduzidos para o português, Nível de Desenvolvimento (ND) e *Level of Detail* (LOd), Nível de Detalhe, sempre trouxeram dificuldades de compreensão no cenário BIM.

Notou-se, a partir de 2017 uma preocupação do mercado nacional em adotar o termo Nível de Informação (NI) mínimo, demandado pelos objetos BIM para atender um uso BIM específico, seja na Fase Design, Construtiva ou de Operação.

No entanto, é importante destacar que o conceito de LOD não está associado ao modelo, mas sim, aos seus objetos. Ou seja, um mesmo modelo pode conter diferentes LOD, ou ND ou NI. Por este motivo, não se pode atribuir um único LOD relacionando-o as fases clássicas de elaboração de projetos como Anteprojeto, Projeto Básico, ou Projeto Executivo.

Os níveis são propostos de forma diferenciada pela bibliografia, mas basicamente auxiliam na definição das informações necessárias tanto de detalhamento e representações 3D quanto das informações agregadas, de acordo com o objetivo do projeto (ou uso BIM). São propostos, em diferentes níveis, como ilustrados na Figura 13.

Figura 13 – LOD ou ND ou NI dos objetos

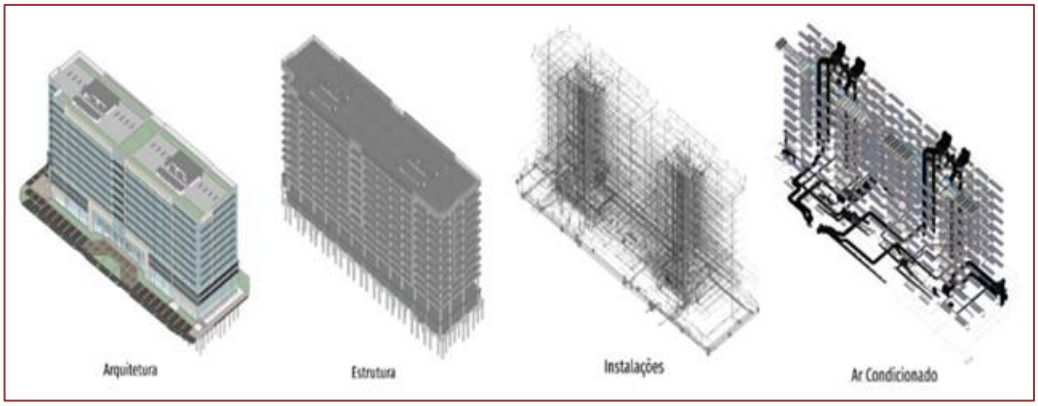


Fonte: BIM Forum (2020)

5.1. MODELO BIM FEDERADO

Um modelo virtual autoral é aquele desenvolvido por uma determinada especialidade, como por exemplo o projeto arquitetônico ou qualquer outro projeto complementar específico. O conjunto de Modelos (Figura 14) compatibilizados, livres de inconsistências e conflitos geométricos (possibilitados pelo *clash detection*), é denominado Modelo Federado composto por diversos arquivos, ou Modelos BIM 3D.

Figura 14 – Modelo Federado



Fonte: ABDI (2017)

Para cada uso BIM contratado, o *Manager* BIM desenvolve a estratégia de trabalho para atingir o objetivo do projeto (PEB). Este agente é responsável pela equipe BIM, gerencia e/ou participa das ações de coordenação multidisciplinar, seleciona as ferramentas a serem utilizadas pelos agentes, elege a plataforma de comunicação e estratégias de integração, que possibilite a geração de um Modelo único de qualidade que atenda o escopo do seu respectivo BIM Mandate.

Neste contexto, o BIM *Manager* estabelece os critérios da estratégia de Controle de Qualidade, uma vez que o sistema BIM perde sua finalidade se o Modelo Federado não contemplar aquilo que de fato é o mais importante, "a Informação".

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De natureza disruptiva, o BIM traz inúmeras quebras de paradigmas e lacunas a serem observadas e debatidas; sejam técnicas, humanas ou comerciais. Especialmente no Brasil, país jovem na maturidade BIM, não somente as respostas, mas as questões estão em plena formação. As discussões não esgotam o tema mesmo em milhares de páginas até porque tudo o que é vivo e dinâmico não possui um ponto final.

Além dos materiais publicados, ainda se fazem necessárias diretrizes nacionais no atendimento à Fase III do Decreto 10.306 (prevista para 2028), sobretudo, na gestão do patrimônio público construído. Não somente aplicados às edificações, mas também para a infraestrutura em geral como no desenvolvimento, construção e operação de rodovias, ferrovias, aeroportos, pontes, viadutos, túneis, enfim, em toda amplitude que a indústria da construção civil é formatada.

Outra abordagem ainda em evolução, é o grande Sistema formado de vários outros sistemas BIM que formatam um cenário de proporções macro, denominado CIM (*City Information Modeling*). Este multiverso BIM trata da dinâmica entre os universos BIM visto sob o olhar do planejamento urbano, onde as cidades e seus elos, umas com as outras, são tratadas como um Sistema ainda maior.

Pode-se resumir então, este capítulo introdutório, em uma única frase; O BIM não é mais o futuro, é o presente. Apesar do impossível cenário ideal e das diversas barreiras culturais, vivenciadas no segmento da indústria da construção civil nacional, o sistema

BIM é um multiverso que acontece, aqui e agora, então é preciso pensar grande, começar pequeno e agir rápido.

REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. ABDI. Guias 1 a 6. Disponível em http:// www.abdi.com.br Acesso em: 27, março de 2021.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965-7: Sistema de classificação da informação da construção Parte 7: Informação da construção. Rio de Janeiro, 2015.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. ASBEA. Disponível em: http//www.asbea.gov.br. Acesso em: 27, março de 2021.

[4] BIM Dictionary. 2019. https://bimdictionary.com >. Acesso em: 26, janeiro de 2020.

[5] BIMForum, Level of Development specification - for building information models, http://bimforum.org . Acesso em: 27, março de 2021.

[6] BIM Project Execution Planning Guide. 2010. Pennsylvania University EUA, p. 9 disponível em https://lp.constantcontactpages.com/su/OvqRZ37/bimguide >. Acesso em: 02, junho de 2020.

[7] BuildingSMART. Disponível em https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>. Acesso em: 27, março de 2020.

[8] BRASIL. Decreto n. 9.377, de 17 de maio de 2018. Estratégia de Disseminação do Building Information Modelling. Diário Oficial da União, Brasília, Edição 95, Seção 1, p. 3, mai. 2018. Atos do Poder Executivo. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377 >. Acesso em: 27, março de 2021.

[9] BRASIL. Decreto n. 10.306, de 02 de abril de 2020. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946 >. Acesso em: 27, março de 2021.

[10] CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Fundamentos BIM – Volumes 1 a 6: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras. Brasília: CBIC, 2016.

[11] EASTMAN, C. et al. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling of Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed. São Paulo, 2014.

[12] GOVERNO ESTADUAL DE SANTA CATARINA https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/labim/Caderno%20de%20Especifica%C3%A7%C3%B5es%20de%20Projetos%20em%20BIM_102018.pdf . Acesso em: 27, março de 2021.

[13] GOVERNO ESTADUAL DO ESTADO DO PARANÁ. Disponível em http://www.infraestrutura.pr.gov.br/BIM. Acesso em: 27, março de 2021.

[14] GOVERNO MUNICIPAL DE SÃO PAULO. http://www.asbea.org.br/noticias/detalhe/a-sehab-sp-publica-caderno-de-projetos-em-bim-que-norteia-os-projetos-habitacionais-em-bim-a-serem-licitados-pela-secretaria. Acesso em: 27, março de 2021.

[15] JAQUES, P.; SIQUEIRA, S.; PIMENTEL M.; PIMENTEL E.; SANTOS, E.; BITTENCOURT, I; Diretrizes para a escrita dos capítulos dos livros metodologia de pesquisa em informática na educação. Capítulo 1. 2011.

[16] MANZIONE, L. Compartilhamento e troca de modelos BIM. Maio 2015. Disponível em http://www.coordenar.com.br/. Acesso em: Acesso em: 27, março de 2017.

[17] RODRÍGUEZ, A.; HEINECK, M. Coordenação de Projetos: Uma Experiência de 10 anos dentro de Empresas Construtoras de Médio Porte. Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído, 2°, Fortaleza, CE. 2001. 12p.

[18] RUSCHEL, R.; GASPAR, J. A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital 22 - 24 Noviembre, 2017 - Concepción, Chile.

[19] RUSCHEL, R.; VALENTE, C.; CACERE, E.; QUEIROZ, S. O papel das ferramentas BIM de integração e

compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil. REEC Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 7, n. 3, p. 36-54, 2013. Disponível em:< http://revistas.ufg.emnuvens.com.br/reec/article/view/27487> Acesso em: 2 jun. 2020.

[20] SILVA, E; ARANTES, E. Proposta de verificação automática dos requisitos de projetos pelo uso de ferramentas de análises BIM Aplicadas a norma de desempenho. ENTAC. 2016.

[21] SILVA, F. Verificação automática dos requisitos de projetos da norma de desempenho pela plataforma BIM Solibri Model Checker. 157f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, UFMG. 2018.

[22] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction 18 p. 357-375, 2009.

Capítulo 2

Modelagem paramétrica

Manfredo Frederico Felipe Hoppe
Cecília Aguiar Domingues
Gabriela Leandro da Cruz

Resumo: A indústria da construção civil é considerada atrasada e pouco desenvolvida quando comparada a outros setores como o automobilístico, o farmacêutico, o de petroquímica e o de eletrônicos. Contudo, com o avanço da tecnologia, é possível mudar esse cenário para aumentarmos sua eficiência. A modelagem e a parametrização dos elementos construtivos têm impactado a forma como os profissionais desenvolvem e apresentam seus trabalhos, tornando seus produtos mais eficazes devido a confiabilidade das informações inseridas no modelo. A informação passou a ser a palavra-chave na elaboração dos projetos de arquitetura e engenharia e, desta forma, compreender a definição de dados, sistemas de informação, modelos e parâmetros se torna fundamental para que o processo de desenvolvimento de cada etapa seja corretamente desenvolvido. Neste artigo vamos demonstrar como a parametrização dos modelos pode contribuir com o desenvolvimento dos projetos. Para chegar aos resultados foram realizadas pesquisas bibliográficas e foi elaborado um projeto de edificação multifamiliar em um software de modelagem. Conclui-se que a modelagem paramétrica torna os projetos de arquitetura mais eficientes, precisos e confiáveis.

Palavras-chave: Dados, modelo, parametrização, sistemas, softwares.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é, historicamente, considerada um setor atrasado e pouco desenvolvido quando comparado a outros setores industriais. Podemos citar o atraso no uso de novas tecnologias de informação e comunicação como fator que prejudica a evolução do campo. O atual cenário nacional, com a economia enfraquecida por frequentes crises políticas, com a escassez de financiamento e com a exigência, pela sociedade, por produtos mais sustentáveis e eficientes, tem exigido da construção civil o seu aperfeiçoamento produtivo.

A falta ou a desorganização de informações, comuns em empresas do setor construtivo, são motivos relevantes para a adoção da Tecnologia nos processos de desenvolvimento de projetos e nos canteiros de obras. Contudo os profissionais também devem se qualificar, investindo principalmente em treinamento, ensino e pesquisa. É indispensável entender as barreiras ao uso destas tecnologias e enxergar as tendências futuras do setor (DO NASCIMENTO; SANTOS, 2003).

A relação entre dados, informação, sistemas de informação, modelos e parâmetros são frequentemente empregados em funções associados à Tecnologia, mas também são aplicados nas mais variadas rotinas da sociedade contemporânea. Para entendermos a relação entre eles e suas possíveis aplicações é necessário compreender o significado de cada um.

Na computação, o conceito de informação não pode ser confundido com o de "dados" e "sistema de informação". Afinal, dados são fatos básicos que, quando organizados ou arranjados de maneira significativa, se transformam em informações. Por sua vez, os sistemas de informação compreendem uma coleção de componentes inter-relacionados que exercem três atividades básicas no computador: entrada de dados, processamento de informação e saída (CANAL, 1999). Já a seleção das informações e o modo como estas são expressas, são reflexos da singularidade de quem está produzindo um modelo. Este, de acordo com De Lima (2009), é o produto da percepção de mundo do modelador.

O objetivo geral desta pesquisa é demonstrar como a modelagem paramétrica pode contribuir com o desenvolvimento da indústria da construção civil. O tema proposto justifica-se uma vez que é necessário que os profissionais e estudantes compreendam a importância e as consequências do fornecimento correto de informações nos modelos parametrizados. Dessa forma, os projetos se tornam mais eficientes e contribuem com o avanço e modernização da indústria da construção civil.

Para construção deste artigo foram realizadas revisões bibliográficas para desenvolvermos uma análise crítica dos conceitos abordados e suas aplicabilidades. Por fim, foram avaliados os usos dos parâmetros no projeto do Edifício Erna Hoppe, elaborado pelos pesquisadores em um software de modelagem.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

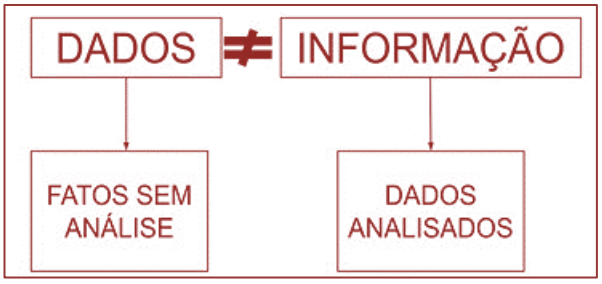
2.1. DADOS, INFORMAÇÃO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Apesar de estarem diretamente associados, os conceitos de dados, informação e sistemas de informação são diferentes. O dado é em um fato inteiro, como por exemplo um nome próprio, preço de algum produto e a temperatura local. Ainda, são considerados

dados os símbolos como imagens, sons e números. Estes, podem ou não, ser úteis e pertinentes para uma situação singular (AUDY; DE ANDRADE; CIDRAL, 2009).

A informação é um conjunto de fatos metodizados de modo que possuem um valor extra ao dado em si. São dados relacionados, que sofreram um processo de modificação, da qual a forma e o conteúdo são adequados para um uso particular (Figura 1) (AUDY; DE ANDRADE; CIDRAL, 2009).

Figura 1: Dados x informação



Fonte: Os autores

Já a expressão "sistemas de informação", compreende uma coleção de componentes inter-relacionados que buscam, processam, trabalham, guardam e enviam informações (AUDY; DE ANDRADE; CIDRAL, 2009). Dessa forma, o computador é usado para as atividades de entrada, processamento, armazenamento e saída do sistema de informação" (CANAL, 1999, p.10).

De acordo com Boell e Kecmanovic (2015), os sistemas de informações (SI) atuais abraçam uma diversidade de tecnologias de informação (TI), como computadores, softwares, bancos de dados, sistemas de comunicação, Internet e dispositivos móveis. Assim, para cumprir demandas específicas, interagem e informam vários usuários sobre diferentes ocasiões organizacionais e sociais.

Os sistemas de informações são geridos por bancos de dados, que servem como base informacional. Sua criação se dá através da exigência da modelagem de elementos que nada mais é do que a criação de uma estrutura em um universo de discurso específico (KERN,1999). Sendo assim, a modelagem de sistemas, tanto a nível funcional quanto de dados, é uma condição essencial para a conquista de produtos de software de maior poder e segurança (ARAÚJO, 2008).

2.2. DEFINIÇÃO DE MODELO

A palavra modelo vem do latim, *modellum*, e significa uma medida, algo que serve como fonte de inspiração, elemento no qual alguém se baseia para construir outra coisa através de uma referência. Modelos são representações básicas científicas, uma imagem simplificada e idealizada, que permite representar, através de parâmetros - escolhidos intuitiva ou matematicamente, o funcionamento de um sistema (JAPIASSU E MARCONDES,1989).

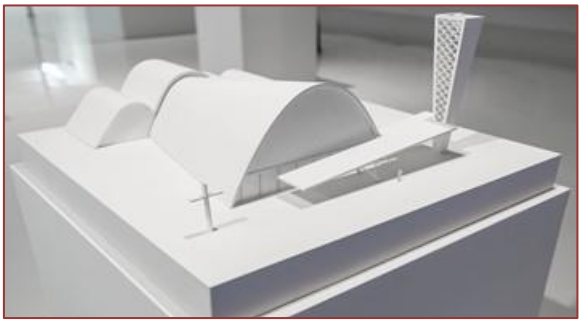
De acordo com Audy, De Andrade e Cidral (2009), pode-se afirmar que os modelos são utilizados em todas as áreas de conhecimento. Alguns usos comuns a todas as amostras dão o suporte na elaboração do raciocínio, podem auxiliar na visualização do sistema, tanto do ponto de vista funcional, estrutural ou comportamental. Os modelos também são capazes de antecipar situações problema, além de colaborar com a viabilidade de experimentos diversos. Os autores definem ainda os tipos de modelos, sendo:

- **modelos icônicos ou físicos**, que podem ser bi ou tridimensionais, como as fotos e maquetes (Figuras 2 e 3);
- **modelos simbólicos,** como os fluxogramas, diagramas, planta baixa e elétrica;
- **modelos matemáticos,** que muitas vezes são caracterizados como abstratos, como por exemplo as fórmulas matemáticas e sistemas de equações;
- **modelos computacionais ou de simulação,** cujos elementos do sistema e suas relações são representados por algoritmos (Figura 4).

Figura 2: Modelo Fotográfico da Igreja São Francisco de Assis

Fonte: Itaú Cultural

Figura 3: Modelo Físico da maquete da Igreja São Francisco de Assis



Fonte: Iphan

Figura 4: Modelo digital da Igreja São Francisco de Assis

Fonte: SketchFab

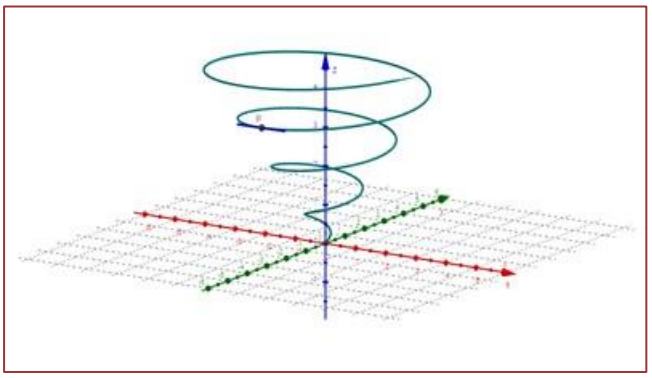
Segundo Bertalanffy (1968) modelos podem ainda ser definidos como um conjunto de partes coordenadas que através de uma logística prévia, visam atender um objetivo, seja ele geral ou específico. Não obstante, por meio de mapeamento, tais partes determinam a organização estrutural do sistema, assim como sua finalidade e rendimento.

Por permitir uma análise simplificada de determinada realidade, a construção do modelo se dá em um aspecto teórico, quando fatos são estabelecidos através de hipóteses, observações, leis e princípios de um sistema e seus elementos. A validação do modelo se dá através de testes, verificação experimental de previsões, hipóteses, aproximações e limites de aplicabilidade. Além disso, o modelo deve ser capaz de explicar as hipóteses já previstas como também as futuras sobre o comportamento do sistema em questão de acordo com os fundamentos de Naylor e Finger (1967).

2.3. PARAMETRIZAÇÃO

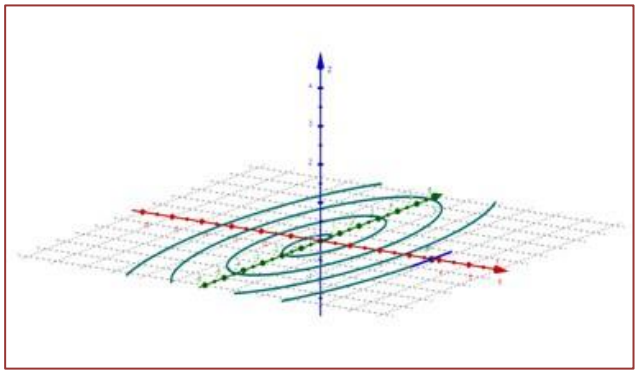
Segundo a definição do dicionário da língua portuguesa, parametrização é o processo no qual parâmetros e padrões são estabelecidos para o processamento e desenvolvimento de um produto, sendo possível realizar comparações e estudos técnicos. Por outro lado, na matemática, uma função considerada como a representação de uma curva no espaço (Figuras 5 e 6) recebe o nome de “função paramétrica” (DICIO, 2009).

Figura 5: representação de curva paramétrica achatada no espaço.



Fonte: Os autores

Figura 6: representação de curva paramétrica no espaço em 3D.



Fonte: Os autores

Na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia podemos especificar duas grandes áreas relacionadas a parametrização de projetos, a do Design paramétrico, mais ligada a programação e a forma, e o do modelo paramétrico, mais ligado à informação. Neste artigo a metodologia será aplicada no modelo paramétrico, o Design paramétrico será abordado apenas no referencial teórico.

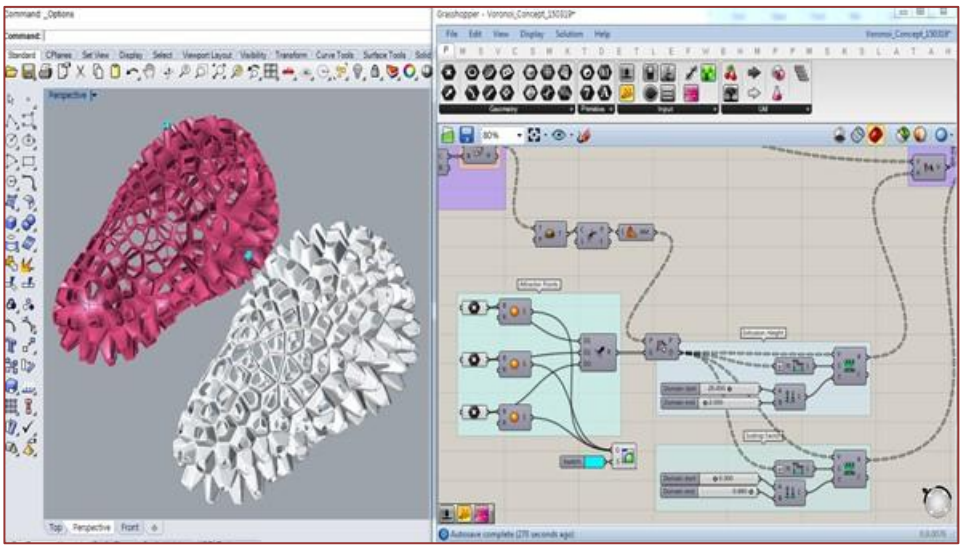
2.3.1 Design paramétrico

De acordo com Azuma (2016), tanto os arquitetos quanto os engenheiros da atualidade se vêem muitas vezes presos a softwares rígidos na geometria, isto é, que não os permitem explorar formas pouco usuais, como as orgânicas e abstratas.

O gradual desuso de se projetar à mão, e muitas vezes a falta de habilidade para tal, fez com que a criação de formas com geometria complexa se tornasse um desafio ainda maior. Por isso, é importante que os novos softwares destinados à construção civil evoluam, fornecendo ferramentas adequadas aos profissionais.

Com a evolução da tecnologia, tanto na parte de software quanto de hardware, foi desenvolvido o Design paramétrico, que tem por objetivo facilitar a utilização de formas originais, abstratas e orgânicas através da manipulação digital, como exemplificado na Figura 7. Sua chegada acarretou o processo da customização em massa dos projetos, em vez da produção em larga escala a que geralmente estamos acostumados. (AZUMA, 2016).

Figura 7: Programação paramétrica no software Rhinoceros e plug-in Grasshopper



Fonte: fórum Grasshopper sobre "Múltiplos pontos de atração para controlar as aberturas de Voronoi"

Este tipo de projeto não depende apenas dos softwares que serão utilizados em sua execução, como também da criatividade de quem os manipula, uma vez que a maioria envolve programação. O Design paramétrico pode ser utilizado para modelos arquitetônicos, estruturais e de sistemas, dependendo das instruções, sendo quase que uma união entre construção civil e programação de máquinas (FLORIO, 2011).

Segundo o Manifesto Parametricista (2008) o termo Design Paramétrico, também chamado de Arquitetura paramétrica, foi criado por Patrik Schumacher, sócio sênior de Zaha Hadid e atual proprietário de seu escritório e deriva da utilização da computação de forma intensa e integral nos projetos de arquitetura, urbanismo, e de design de produtos. Portanto, o Design paramétrico se desenvolve a partir da análise de diversos parâmetros como cartas topográficas, solares e dos ventos; esforços naturais das formas modeladas; geometria e comportamento dos usuários. Através de tais estudos de dados, vários resultados são gerados e, a partir disso, com o auxílio de softwares e computação gráfica, é possível fazer o estudo completo dos algoritmos e assim, criar as geometrias desejadas.

O Design Paramétrico foge das formas convencionais, quando o arquiteto cria o projeto pensando em sua forma final (Figura 8). Neste caso, são as diretrizes que determinam o curso que o projeto seguirá, cabendo ao arquiteto apenas a escolha dentre as formas finais que o programa apresenta. Tal processo pode ser também chamado de generativo uma vez que os algoritmos são responsáveis por criar e manipular de forma variável o projeto (FLORIO, 2007).

Figura 8: Heydar Aliyev Centre, por Zaha Hadid

Fonte: Zaha Hadid Architects

2.3.2. MODELO PARAMÉTRICO

Além do Design Paramétrico, abordado anteriormente, existe também outro tipo de parametrização, a de informações, que se dá através da inserção de dados e detalhamentos de componentes em um modelo. Nesse modelo a confiabilidade das informações é fundamental para o sucesso do projeto.

Segundo Romcy e Cardoso (2019) o modelo paramétrico se difere de um modelo tridimensional físico, estático uma vez que se configura como uma relação dinâmica entre objetos, abastecida de informações e nós que as interligam.

Alguns sites disponibilizam famílias de objetos parametrizados voltados para os mais variados projetos, como o elétrico, hidráulico e o de interiores (Figuras 9 e 10) em softwares BIM (Building Information Modeling), o que torna possível editar os elementos desejados a partir das necessidades do profissional. Ao fazer isso, os sites popularizam o processo criativo do BIM para o mercado da construção civil (BARATTO, 2018).

Figura 9: Família paramétrica para BIM

Fonte: Vitrine REVIT

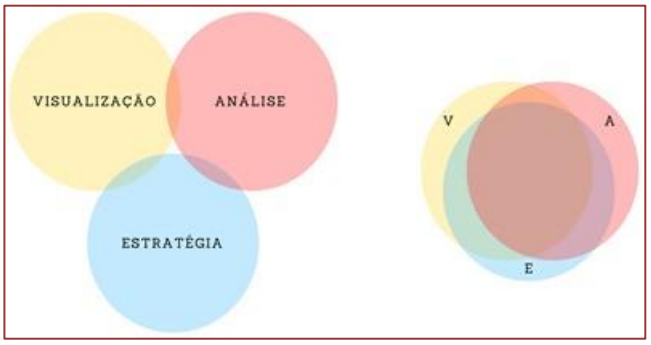
Figura 10: Elemento paramétrico para BIM

Fonte: Vitrine REVIT

Segundo Rendow Yee (2013, pg 2 e 3), a composição de ambientes de uma edificação são um agregado de formas simples e complexas que, para representar precisamente o local, devem estar na proporção correta e devem ser abastecidas por informações confiáveis. A parametrização, realizada em softwares BIM, permite a extração de desenhos, tabelas e quantitativos. A coleta de dados sobre o modelo é simultânea e imediata, e o próprio software é capaz de coordenar e ajustar as informações em todas as outras representações.

O nível de implementação dos processos e dos softwares BIM são resultado da interrelação entre a visualização do modelo, análise de dados e estratégia projetual, (Figura 11), e são proporcionais ao grau de integração dessas etapas, afirma Eastman (2014).

Figura 11: Diagrama representando o nível de integração e implementação dos softwares em diferentes níveis de complexidade projetuais



Fonte: Os autores

2.4. SOFTWARES DE MODELAGEM

De acordo com Autodesk (2020), devido ao avanço da tecnologia e da indústria da construção, os softwares mudaram o modo como os arquitetos e engenheiros elaboram e representam graficamente suas obras. Desta forma, é necessário compreender sua conceituação, aplicabilidade e principais exemplos.

O termo inglês "*software*" foi criado em 1958 por John Wilder Tukey, importante estatístico estadunidense. O pesquisador definiu software como "uma sequência de instruções escritas para serem interpretadas por um computador com o objetivo de executar tarefas específicas." Na modernidade, com o desenvolvimento da tecnologia, foram classificados em:

- **Softwares de sistema:** Conjuntos informacionais processados pelo sistema interno de um computador, permitindo a interação entre usuário e elementos periféricos através de uma interface gráfica, como por exemplo teclado, mouse e impressora.

- **Softwares de programação:** Conjuntos de ferramentas que permitem ao usuário desenvolver sistemas informáticos, geralmente usando linguagens de programação.

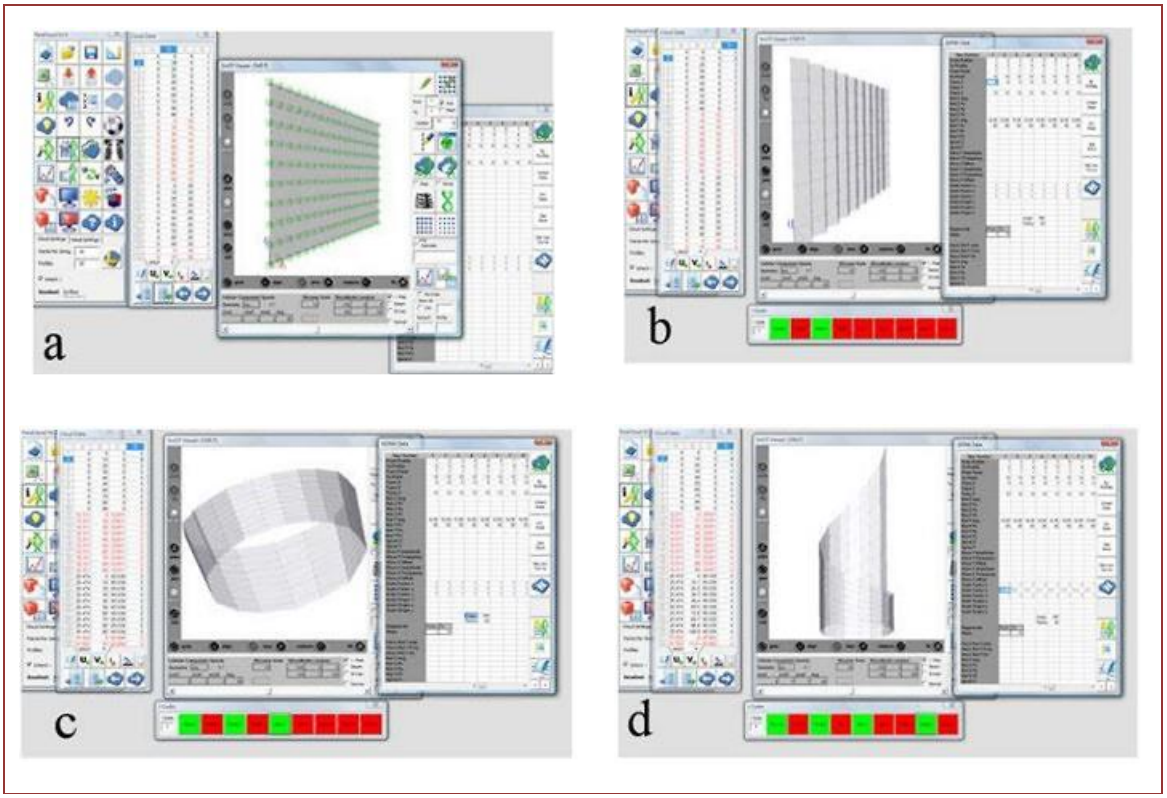
- **Softwares de aplicação:** Programas de computadores que permitem ao usuário executar uma série de tarefas específicas em diversas áreas do conhecimento.

- **Softwares livres**: São programas que dão liberdade ao usuário, permitindo o estudo, modificações e compartilhamento com outras pessoas. Para isso, é necessário o acesso ao código-fonte e assim, alterá-lo conforme as suas necessidades.

O emprego de softwares 2D e 3D para arquitetura e engenharia proporcionou aos designers uma melhor ferramenta de produção de experimentos, rascunhos e testes com precisão projetual. Com a evolução dos softwares de renderização é possível que profissionais e clientes avaliem pontos específicos do modelo, através de imagens, que os permitem validar ou não o projeto (AUTODESK, 2020).

Segundo Florio (2007), o sentido do encadeamento na conexão entre os componentes de um projeto define como as mudanças podem ser efetuadas dentro do programa. Dessa forma, as entidades paramétricas permitem o processo de alteração, manipulação e cópia dos elementos sem a perda das informações, visto que guardam seus atributos e propriedades anexados ao seu "banco de dados". Pode-se observar na Figura 12, ordenadamente, como uma superfície inicial plana pode ser manipulada por parâmetros até se obter famílias de diferentes tamanhos e contornos.

Figura 12: Modelagem por comportamento



Fonte: Wilson Florio (2009)

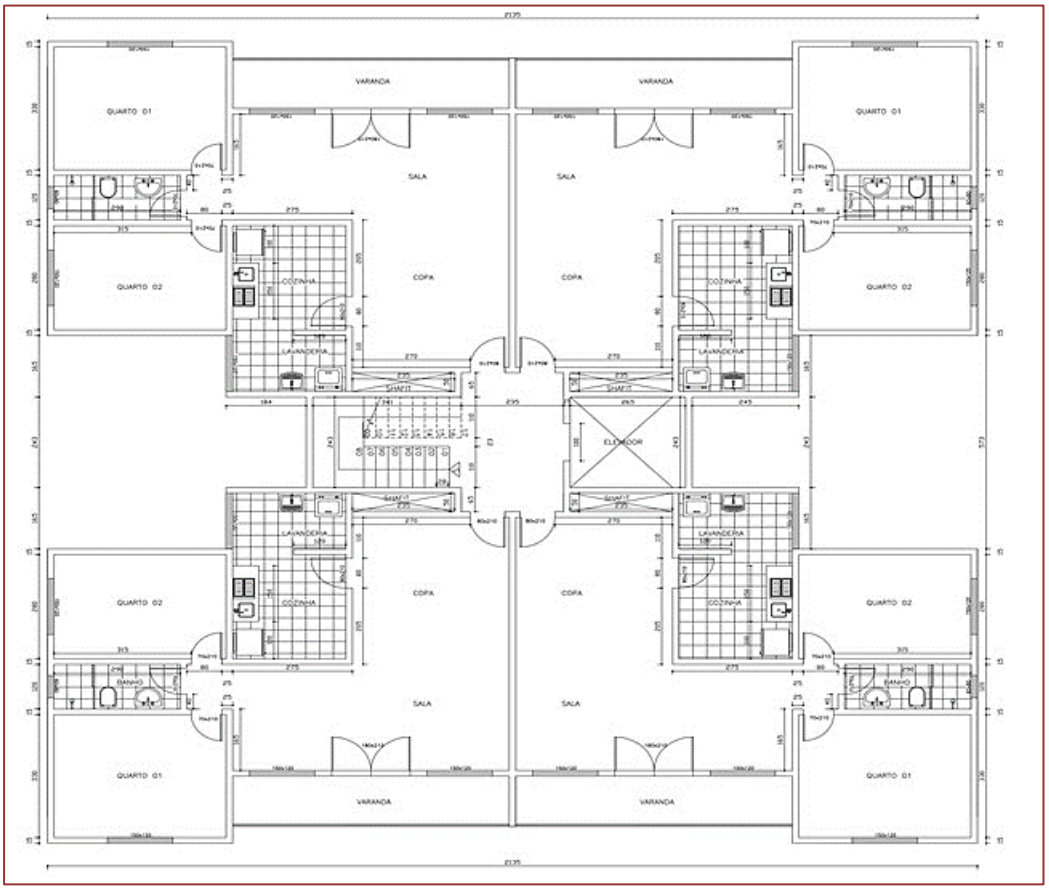
3. METODOLOGIA

Para construção do artigo foram realizadas revisões bibliográficas que partiram da compreensão de que a indústria da construção civil está passando por uma profunda transformação em seus meios de produção e que extravasam a competência técnico-científica tradicional, demandando tecnologia, informação e ciência.

Além da revisão bibliográfica, foi desenvolvido um projeto multifamiliar em um Software BIM (Revit) que tornou possível a parametrização dos elementos construtivos. Adotou-se o projeto de um edifício residencial, denominado Edifício Erna Hoppe, elaborado pelos autores, em um terreno de 1.280 m^2 que possui quatro pavimentos com 386,76 m^2 cada, e dezesseis apartamentos de 88,72 m^2, sendo quatro apartamentos por andar. A planta das unidades possui dois quartos, cozinha, área de serviço, sala, copa e um banheiro (Figura 13).

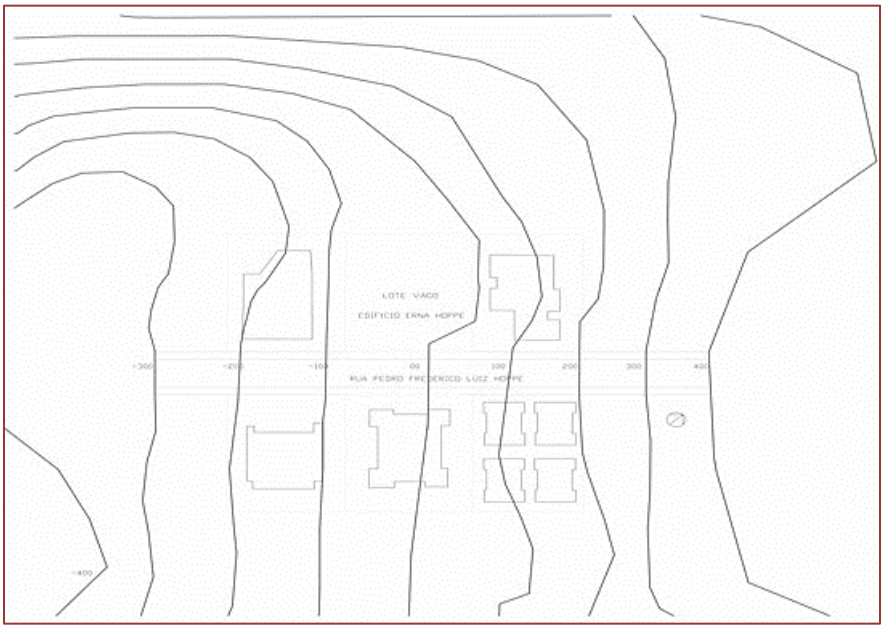
Os pilotis são abertos e na fachada frontal, junto ao muro, há a presença de dois jardins, um portão social e um portão de garagem. A base topográfica utilizada possui 8 metros de desnível (Figura 14) e na área do terreno foi construído um platô para melhor aproveitamento do espaço. Optamos por utilizar o método de pesquisa exploratória para maior aprofundamento do tema apresentado.

Figura 13: Representação da planta do pavimento tipo do Edifício Erna Hoppe em duas dimensões (2D).



Fonte: Os autores

Figura 14: Base topográfica



Fonte: Os autores

O estudo aborda as avaliações feitas nas etapas de elaboração do projeto e o impacto do uso da parametrização durante o desenvolvimento do mesmo. Foram analisados:

- O desenvolvimento do projeto topográfico, Arquitetônico, Estrutural e de decoração;
- Renderização.
- A extração das tabelas e quantitativos;

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

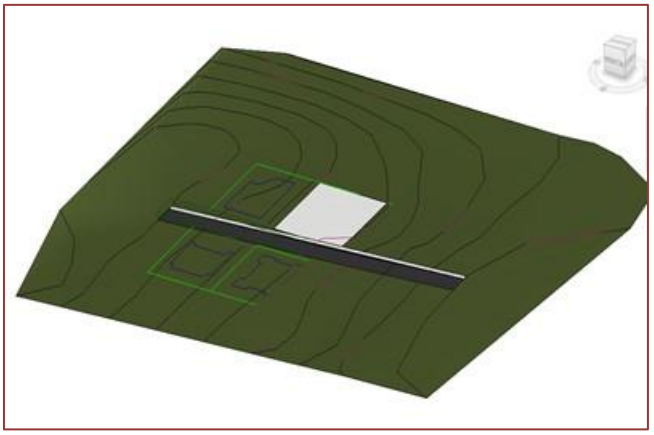
Este capítulo tem por objetivo demonstrar como a parametrização dos modelos pode contribuir com o desenvolvimento dos projetos. Descrevemos as facilidades e dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto do Edifício Erna Hoppe, elaborado pelos autores, com o auxílio de um software BIM (Revit), e as vantagens e desvantagens que a parametrização proporcionou.

4.1. BASE TOPOGRÁFICA

Os dados do levantamento topográfico, utilizados como base para elaboração do projeto, foram importados de um arquivo gerado pelo programa AutoCAD para o software Revit.

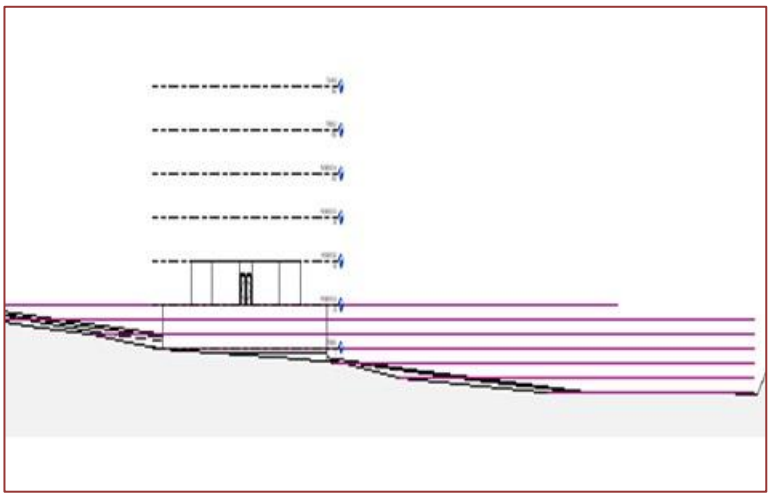
Nessa primeira etapa o software BIM fornece uma ferramenta de modelagem automática da superfície do terreno que facilita e agiliza o estudo e a compreensão topográfica (Figura 15). Vale ressaltar que para o correto funcionamento da ferramenta a base topográfica deve ser importada com as curvas de nível corretamente posicionadas, tanto nos eixos X, Y e Z (largura, altura e comprimento), conforme apresentado na Figura 16. Caso seja necessário, o software permite ajustes na posição das curvas após a importação.

Figura 15: Topografia modelada



Fonte: Os autores

Figura 16: curvas de nível corretamente posicionadas



Fonte: os autores

O estudo topográfico feito através da modelagem foi eficaz pois auxiliou a definição do melhor local e altura de implantação do platô, colaborando na prevenção de serviços como a terraplanagem. Dessa forma, com a apuração do modelo foi capaz enxergar todos os intervalos de inclinação e sua respectiva proporção, proporcionando informações relevantes para a análise inicial da movimentação de terra e de realização de infraestrutura no terreno estudado.

Ferramentas como as caixas de corte e de aplicação de materiais também se revelaram importantes nessa etapa pois facilitam a visualização dos detalhes do terreno, o que possibilitou um controle mais severo durante o planejamento, certificando melhores resultados.

4.2. PROJETO ARQUITETÔNICO

No desenvolvimento do projeto arquitetônico as ferramentas de automação e parametrização que propiciam as alterações globais no modelo permitiram que ajustes e correções fossem realizados de modo rápido e eficiente.

O projeto Arquitetônico do edifício residencial conta com quatro pavimentos e dezesseis apartamentos, sendo quatro unidades por pavimento (Figuras 17 e 18). O terreno possui 1.280 m^2 e cada unidade habitacional possui 88,72m^2, com dois quartos, cozinha, área de serviço, sala, copa e um banheiro

Figura 17: Representação do pavimento tipo

Fonte: Os autores

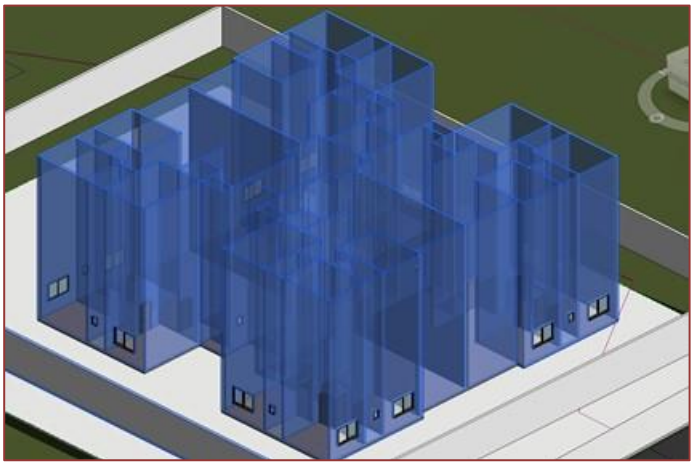
Figura 18: Representação do modelo 3D

Fonte: Os autores

Como a aplicação do BIM envolve a integração de todas as informações do modelo, qualquer alteração que seja feita atualiza automaticamente os dados relacionados a elas, seja nas plantas, nos cortes, nas vistas, no 3D, nas tabelas e nos quantitativos. Como por exemplo uma porta com as dimensões de 0.70m de largura por 2.10m de altura, a qual precisa ter a altura aumentada para 2,50m e a largura aumentada para 1,60m. Se o projeto estiver em BIM, basta clicar no componente e indicar os novos valores que a porta irá se moldar rapidamente a eles e todos os dados associados a ela também, como as quantidades de materiais.

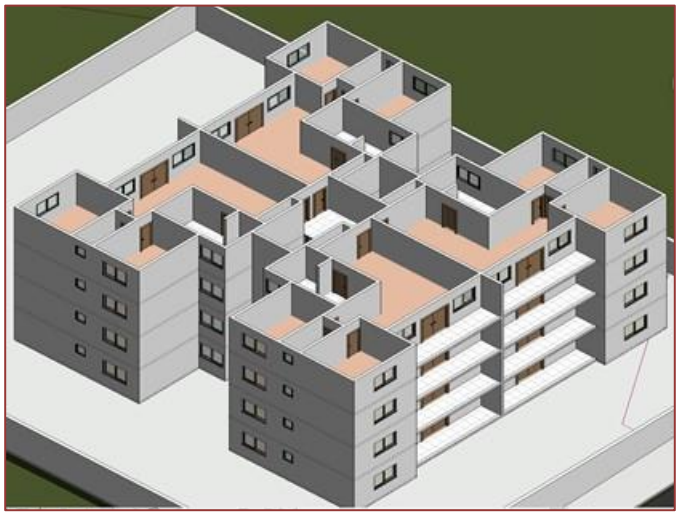
Outro exemplo de grande valia aplicado no projeto está relacionado à capacidade do software em duplicar elementos, independentemente da quantidade e complexidade, preservando a parametrização realizada no objeto inicial. Abaixo (Figuras 19 e 20) é apresentado a duplicação de todo o pavimento do nível 01 para os níveis 02, 03 e 04 com um único comando. Todas as especificações inseridas nas paredes, na laje, nas portas e janelas foram automaticamente duplicadas e as tabelas e quantitativos atualizados.

Figura 19: Duplicação de elementos



Fonte: Os autores

Figura 20: Representação do pavimento



Fonte: Os autores

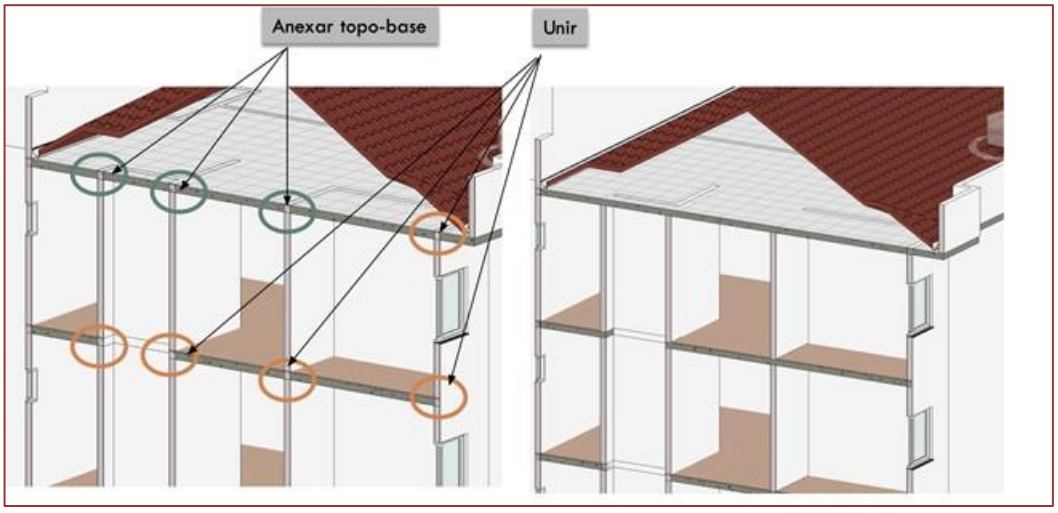
4.3. PROJETO ESTRUTURAL

No projeto estrutural foram montados e parametrizados os pilares e as lajes para compreensão do impacto desses elementos no modelo. Outros componentes estruturais não foram abordados pois não eram o foco da pesquisa.

Foi possível parametrizar informações estratégicas de todos os componentes estruturais utilizados como espessura, largura, altura e matérias de acabamento. É possível adicionar ainda outras informações, como local de compra dos materiais, resistência, dados da armadura metálica, recobrimento, fator água-cimento etc., de acordo com a necessidade de cada especialidade.

As ferramentas de união e ajustes entre lajes e pilares foram utilizadas com frequência e facilitam e agilizam de forma significativa as correções realizadas no projeto (Figura 21).

Figura 21: União incorreta entre lajes e pilares / União corrigida



Fonte: Os autores

As ferramentas disponíveis no software, bem como a parametrização dos componentes, facilitaram o posicionamento adequado dos elementos estruturais e facilitaram a visualização das divergências e incompatibilidades construtivas.

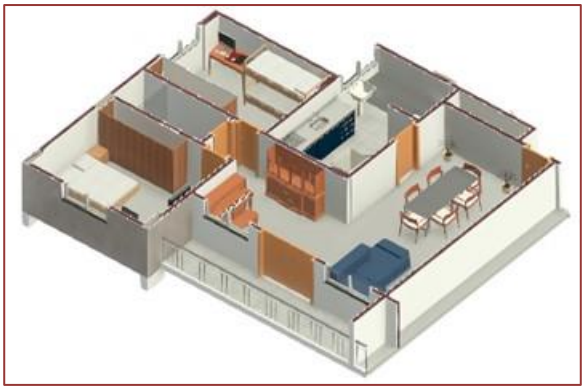
4.4. PROJETO DE DECORAÇÃO E DETALHAMENTO

O projeto de decoração foi desenvolvido em uma das dezesseis unidades da edificação. Como os apartamentos possuem a mesma configuração, não foi necessário decorar outras unidades, e assim evitamos a sobrecarga do arquivo pois à medida que inserimos novos componentes, o software exige mais espaço de armazenamento e maior capacidade de processamento do computador.

Os componentes de decoração foram retirados de bases de dados de sites especializados, como a plataforma BIM-BR. Apesar de crescente, a disponibilidade de objetos acessíveis para download ainda é limitada.

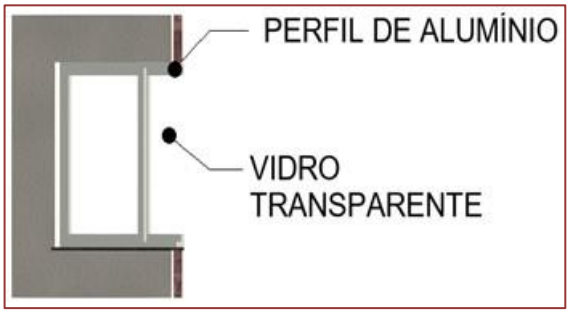
No arquivo foram inseridos objetos como camas, mesas, sofá, cadeiras, computador, escrivaninha, pia, bancada, armários e vegetação (Figura 22). A possibilidade de editar e inserir elementos anotativos nos componentes demonstrou-se muito prática e eficiente pois permite o detalhamento de qualquer objeto (Figura 23).

Figura 22: Unidade habitacional decorada



Fonte: Os autores

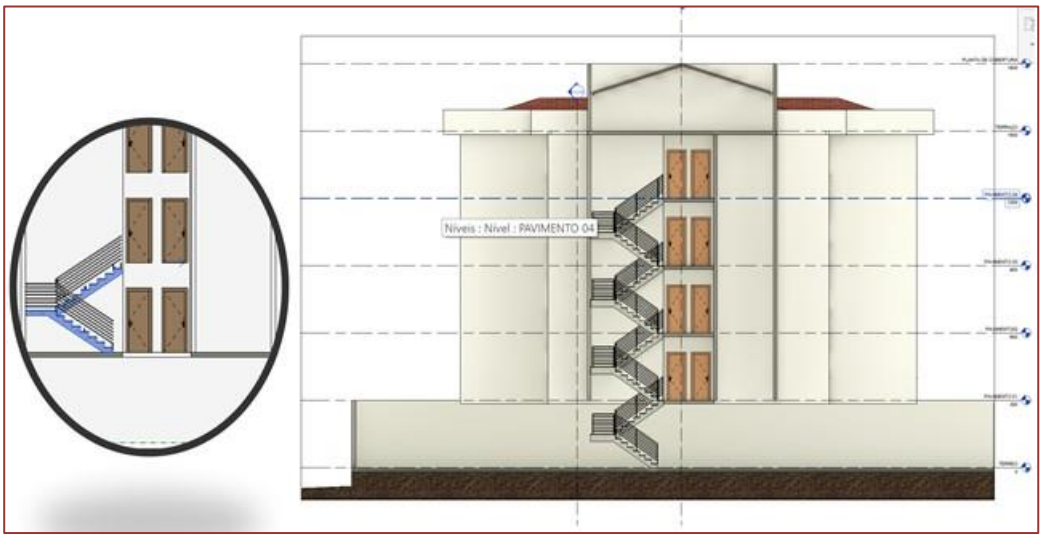
Figura 23: Detalhamento de esquadria



Fonte: Os autores

A caixa de corte e a de aplicação de materiais novamente se revelam importantes, desta vez na etapa de decoração e detalhamento (Figura 24), pois são ferramentas constantemente utilizadas que facilitam a visualização, organização e a estética do projeto.

Figura 24: Corte lateral do Edifício Erna Hoppe.



Fonte: Os autores através do Software REVIT

4.5. RENDERIZAÇÃO

A qualidade final da renderização do projeto depende de várias questões como, por exemplo, da experiência do profissional, da capacidade dos softwares e dos hardwares que processam as imagens, das configurações dos atributos do cenário e das cenas capturadas. Nas imagens abaixo podemos observar dois exemplos de *renders* do edifício Erna Hoppe desenvolvido do software Revit (Figuras 25 e 26).

Figura 25: Imagem da fachada frontal do Edifício Erna Hoppe renderizada

Fonte: Os autores

Figura 26: Imagem interna do Edifício Erna Hoppe renderizada

Fonte: Os autores

A renderização, feita exclusivamente no Revit, apesar de não apresentar uma imagem de alta definição, é capaz de expressar como será o projeto acabado, com texturas, luz, sombra, acabamentos, mobiliários, entre outros.

4.6. TABELAS E QUANTITATIVOS

Após finalizar o projeto é o momento de extrair os quantitativos necessários para a compra dos materiais e execução da obra, porém são necessários alguns cuidados, uma vez que quanto mais informação se queira extrair em uma única tabela, mais complexa a tabela fica.

O programa, fundamentado no modelo paramétrico e nas configurações habilitadas no projeto pelos profissionais envolvidos, responsabilizou-se pelas funções de rotina e repetitivas de automação, como a atualização de plantas de piso, elevações, cortes, 3D, tabelas e quantitativos.

Se os componentes utilizados no projeto estiverem corretamente parametrizados as possibilidades de extração de tabelas e quantitativos são incontáveis. Pode-se criar tabelas de esquadrias (Tabela 01), telhados (Tabela 02) áreas (Tabela 03), cerâmicas, blocos, louças sanitárias, guarda-corpo etc.

Tabela 01: Quantitativo de portas do Edifício Erna Hoppe

{3D} | Legenda de indicações | Legenda de modificação | Legenda de portas

<Quadro de portas>

A	B	C	D	E	F
Tipo	Função	Altura	Largura	Quantidade	Custo
P1	Porta simples de giro	210	80	32	14400,00
P2	Porta simples de giro	210	70	48	19200,00
P3	Porta dupla de giro	210	180	16	12800,00
Total: 96					46400,00

Fonte: Os autores

Tabela 02: Quantitativo de telhado do Edifício Erna Hoppe

Quadro de janelas | Quadro de portas | Quadro de áreas | Quantitativo de paredes

<Quantitativo de telhado>

A	B	C	D	E
Tipo	Área projetada	Quantidade	Custo/m²	Custo total (R$)
Colonial	212,86 m²	1	80,00	17.028,73 m²
Colonial	212,86 m²	1	80,00	17.028,73 m²
Colonial	20,96 m²	1	80,00	1.676,45 m²
Total: 3				

Fonte: Os autores

Tabela 03: Áreas dos ambientes

Quadro de portas | Quadro de áreas

<Quadro de ambientes>

A	B	C
Nome	Área	Patamar
BANHEIRO	3,48 m²	PAVIMENTO 01
COZINHA	7,23 m²	PAVIMENTO 01
LAVANDERIA	4,15 m²	PAVIMENTO 01
QUARTO 01	12,87 m²	PAVIMENTO 01
QUARTO 02	10,95 m²	PAVIMENTO 01
SALA 01	19,36 m²	PAVIMENTO 01
SALA 02	14,22 m²	PAVIMENTO 01
SHATF	1,18 m²	PAVIMENTO 01
VARANDA	7,14 m²	PAVIMENTO 01
Total: 9		

Fonte: Os autores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após revisão bibliográfica e do estudo da etapa de desenvolvimento do projeto do edifício Erna Hoppe, concebido em um software BIM, observou-se as vantagens da adoção da parametrização em Projetos de Arquitetura e Engenharia. Dessa forma, foi possível demonstrar a importância da modelagem paramétrica no desenvolvimento da construção civil.

Compreender a definição de dados, informação, sistemas de informação, modelos e parâmetros demonstrou-se relevante para reflexão e entendimento da importância e das consequências do abastecimento correto de informações nos modelos parametrizados. Não se trata da quantidade de informações, mas da qualidade e das confiabilidades destas.

Segundo Azuma (2016) pode-se dizer que "a parametrização vem para mudar o modelo de “produção em massa” para um modelo de “customização em massa”. Tal facilidade faz com que projetos inteligentes sejam executados de maneira segura e rápida.

A possibilidade de alteração da forma e dos parâmetros estabelecidos no projeto de acordo com as necessidades dos profissionais através da manipulação dos componentes, mesmo após sua "finalização", garante projetos mais precisos e que evitam o desperdício de matéria prima, retrabalhos, custo e tempo.

Observamos que o processo inicial do desenvolvimento do trabalho tende a ser mais lento devido à preocupação com compatibilização entre o projeto e as informações, mas à medida que o projeto avança o tempo de execução das tarefas e rotinas diminuem significativamente.

O alto custo das licenças de softwares BIM, a necessidade de hardwares potentes, normalmente caros, e a quantidade, ainda baixa, de objetos disponíveis para download na internet ainda são obstáculos para a popularização desta tecnologia.

Após o desenvolvimento das etapas propostas no projeto ficamos satisfeitos com os resultados obtidos em todas as tarefas e processos realizados. Quanto à renderização, feita no aplicativo *Revit*, é importante destacar que a imagem não possui uma resolução com a mesma qualidade gerada, por exemplo, com softwares como o *Lumion* e *3D Studio* Max, mas isso não tirou sua funcionalidade, uma vez que a imagem será usada intencionalmente para representar uma ideia do Projeto final. Caso seja uma demanda significativa do profissional, vale investir em outros softwares ou plugins de renderização para obter-se imagens com maior qualidade.

Para finalizar, concluímos que a parametrização dos modelos de arquitetura e engenharia possui potencial para ajudar no desenvolvimento da indústria da construção civil pois torna o processo projetual mais eficiente, seguro e preciso, contribuindo assim com a modernização do setor.

REFERÊNCIAS

[1] ARAÚJO, M. A. P. Modelagem de Dados–Teoria e Prática. Saber Digital: Revista Eletrônica do CESVA, Valença, v. 1, n. 1, p. 33-69, 2008.

[2] AUDY, Jorge Luis Nicolas; DE ANDRADE, Gilberto Keller; CIDRAL, Alexandre. Fundamentos de sistemas de informação. Bookman editora, 2009.

[3] AUTODESK. Quais softwares os arquitetos usam? 2020.

[4] AZUMA, Maurício Hidemi. Customização em massa de projeto de habitação de interesse social por meio de modelos físicos paramétricos. 2016.

[5] BARATTO, Romullo. Vitrine Revit: plataforma online disponibiliza famílias BIM gratuitamente. 2018. Arch Daily Brasil.

[6] BERTALANFFY, Ludwig von. General system theory. 1968.

[7] BOELL, Sebastian K; KECMANOVIC, Dubravka Cecez. What is an Information System? 2015.

[8] CANAL, Denise Cordeiro Gonçalves. Administração em Sistemas de Informação. 1999.

[9] CULTURAL, Itaú. Imagem do modelo de maquete física Igreja São Francisco de Assis. Disponível em: <https://www.itaucultural.org.br/oscar-niemeyer-classicos-e-ineditos-2.> Acesso em 5 Mar 2021.

[10] DE LIMA, Tiago França Melo et al. Modelagem de sistemas baseada em agentes: Alguns conceitos e ferramentas. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal Brasil, Anais... Natal, p. 25-30, 2009.

[11] DICIO. Significado de Parametrização. 2009. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/parametrizacao/>.

[12] DICIO. Significado de Software. 2009. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/software/>. Acesso em 1 Mar 2021.

[13] DO NASCIMENTO, Luiz Antonio; SANTOS, Eduardo Toledo. A indústria da construção na era da informação. Ambiente Construído, v. 3, n. 1, p. 69-81, 2003.

[14] EASTMAN, Charles M et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre, RS: Bookman, 2014.

[15] FLORIO, Wilson. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. Encontro de tecnologia da informação e comunicação na construção civil, v. 3, p. 1-12, 2007.

[16] FLORIO, Wilson. Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. 2011.

[17] FLORIO, Wilson. Modelagem paramétrica no processo de projeto em arquitetura. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, SBPQ, p. 571-582, 2009.

[18] IPHAN. Imagem do modelo fotográfico Igreja São Francisco de Assis. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/noticias/detalhes/5376/igreja-da-pampulha-reabre-suas-portas-totalmente-restaurada. Acesso em 5 Mar 2021.

[19] JAPIASSU, H e Marcondes. Pequeno dicionário de filosofia. 1989.

[20] KERN, Vinícius M. Modelagem da informação com IDEF1X: linguagem, método, princípio do consenso. Alcance, n. 3, p. 99-108, 1999.

[21] LIMMER, Carl Vicente. Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras. Livros Técnicos e Científicos, 1997.

[22] LINO, José Carlos; AZENHA, Miguel; LOURENÇO, Paulo. Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas. BE2012-Encontro Nacional Betão Estrutural, p. 2-3, 2012.

[23] NAYLOR, T. H. FINGER, J. M. Verification of Computer Simulation Models. Management Science. 1967.

[24] ROMCY, N. M. e S., & CARDOSO, D. R. A introdução da abordagem paramétrica no ensino de projeto arquitetônico: relato de uma experiência. 2019.

[25] SKETCHFAB. Imagem do modelo de maquete digital da Igreja São Francisco de Assis. Disponível em: https://sketchfab.com/3d-models/igreja-sao-francisco-de-assis-belo-horizonte-a7db5996187b4ac6b0fd2ba8ae8a6dbd. Acesso em 3 Mar 2021.

[26] SCHUMACHER, Patrick. Parametricism as Style - Parametricist Manifest. 2008.

[27] TAKAHASHI, Flávio Akihiro; HIROTA, Ercilia Hitomi; DUARTE, Rovenir Bertola. Design associativo: análise da topografia no traçado de vias e quadras. Ambiente Construído, v. 19, n. 4, p. 95-113, 2019.

[28] VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Z.; FAGGION, Pedro Luis. Fundamentos de topografia. Universidade Federal do Paraná, 2012.

[29] YEE, Rendow. Architectural Drawing: A Visual Compendium of Types and Methods. 2013.

Capítulo 3

Gerenciamento de processos aplicado ao building information modeling

Denise Aurora Neves Flores
Maria Luísa Ribeiro Antunes

Resumo: O incremento da competitividade com ganhos de produtividade é essencial para a indústria da Construção Civil. Todos os agentes envolvidos na construção, públicos ou privados, devem mover esforços para a evolução do setor, incorporando novas tecnologias, sistemas e processos. Inovações como o BIM são fundamentais para a modernização e crescimento desta cadeia. Sua implementação altera o fluxo de projeto, os produtos resultantes, as etapas e, naturalmente, os processos de todas as etapas do ciclo da construção. A prática mercadológica vem demonstrando que implementar o BIM vai além de alterar a infraestrutura tecnológica ou habilitar pessoas na operação dos novos sistemas. Para o sucesso do BIM nas organizações, faz-se obrigatória a sua integração com o Gerenciamento de Processos. Este capítulo objetiva conciliar os fundamentos da gestão de processos organizacionais e suas influências na tomada de decisão estratégica face ao BIM, bem como apresentar os aspectos da modelagem de processos no planejamento estruturado da implementação BIM.

Palavras-chave: Gerenciamento de Processos. Building Information Modeling. Modelagem de Processos. Plano de Implementação BIM.

1. INTRODUÇÃO

Para uma organização se manter em crescimento em um determinado mercado é fundamental que tenha formatado uma estratégia competitiva frente às organizações concorrentes. Uma estratégia pode ser entendida como a maneira de integrar diferentes recursos disponíveis na corporação, de modo a atingir os objetivos definidos pela governança dessa organização. A estratégia envolve decisões sobre os objetivos de curto, médio e longo prazos, a alocação dos recursos e as ações críticas a serem cumpridas para se obter o alcance das metas estabelecidas.

De acordo com Falconi (2004), as estratégias são os meios para alcançar as metas globais da alta administração e podem ser classificadas em operações de sobrevivência, manutenção, desenvolvimento e crescimento. Desta forma, a alta administração poderá adotar um conjunto dessas diretrizes de maneira ordenada desde que seus aspectos gerais não sejam conflitantes.

A estratégia organizacional considera os aspectos internos e externos à instituição e os confronta analisando ameaças e oportunidades.

O BIM - *Building Information Modeling*, é um inovador e real desenvolvimento para a indústria da Construção Civil pois, a partir da integração tecnológica das informações, estabelece um modelo virtual de construção que é íntegro (sem perda de informações), completo e dinâmico. O BIM é uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados para produzir, comunicar e analisar modelos de edifícios (EASTMAN *et al*., 2014).

De acordo com Kunz e Fischer (2012) o *Virtual Design and Construction* ou Construção Virtual, pode ser compreendido como simulação digital da integração multidisciplinar dos dados e parâmetros do projeto, sua classificação e os processos envolvidos em seu desenvolvimento, satisfazendo de informações e experimentações entre as partes interessadas no projeto. Dentro do ciclo da construção virtual, cada uso possível do BIM (também chamado de dimensão do BIM), por sua especialidade técnica própria, requer um conjunto tecnológico próprio, bem como um conjunto de processos específicos que, por sua vez, vão demandar integração e convergência para os objetivos estratégicos definidos.

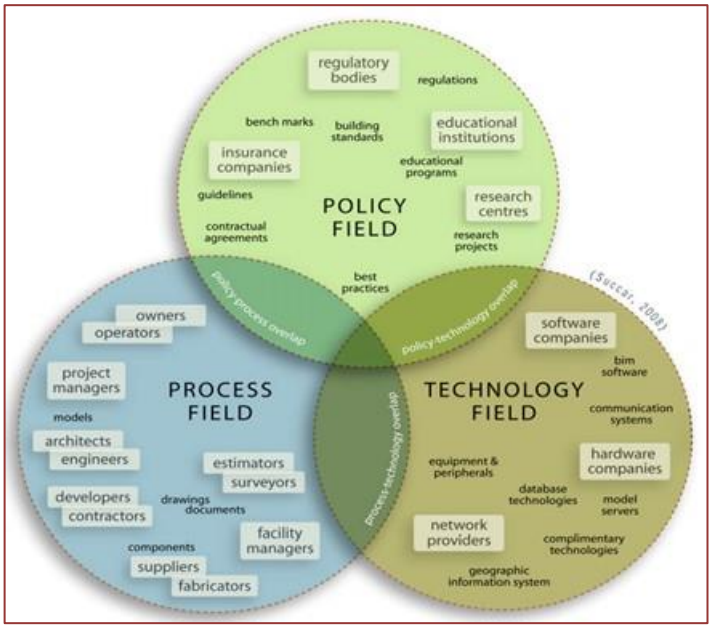
Na viabilização de modelos[1] virtuais que possuam parâmetros necessários para simulações e análises simultâneas diversas, o BIM objetiva a modelagem simulada como projeto voltado à produção.

Todavia, a mentalidade integradora e colaborativa necessária a esta efetivação, conduz a uma gestão dos projetos de lógica mais simultânea que seriada. O projeto simultâneo pressupõe que exista trabalho em equipe, comunicação sistemática e colaboração. Cada integrante da equipe contribui com sua experiência e conhecimento específico para diminuir falhas potenciais seja do processo ou do produto, conforme observou Melhado (1994).

O ambiente colaborativo promovido pela Engenharia Simultânea contribui para a sinergia necessária ao BIM, por ser compatível com as especificidades requeridas pelas tecnologias e s*oftwares* que envolvem o processo BIM.

[1] **Modelo**: sm 1. Aquilo no qual alguém se pauta para construir outra coisa idêntica. 2. Representação, em escala reduzida, de objeto a ser reproduzida em dimensões normais.

Figura 1 – Diagrama de Venn dos três campos interligados à atividade BIM



Fonte: Succar (2009)

Como difundido por Succar (2009), o BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que interagem e geram uma metodologia para gerenciar o *design* de edifícios e dados de projeto em formato digital ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

2. FUNDAMENTOS DO GERENCIAMENTO DE PROCESSOS

A ABNT ISO 9000 (2015) define processo como um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transformam entradas (informações, materiais, instruções ou matérias-primas) em saídas (produtos, serviços ou decisões).

Para Harrington *et al*. (1997 *apud* CAVALCANTI, 2017) processos são um conjunto de atividades lógicas, relacionadas e sequenciais que, a partir de uma entrada de um fornecedor, agrega-lhe valor e produz uma saída para um cliente.

Processos podem ser: 1) primários: geram valor diretamente ao cliente final; 2) de suporte: apoiam os processos primários; 3) de gerenciamento: gerenciam e controlam os demais processos.

Segundo Müller (2003), a conceituação de processos no contexto da estratégia da estrutura organizacional, é fundamental para definir e entender o Gerenciamento de Processos.

Estrutura organizacional é o instrumento administrativo resultante da identificação, análise, ordenação e agrupamento das atividades e dos recursos das empresas, incluindo o estabelecimento dos níveis de alçada e dos processos decisórios, visando ao alcance dos objetivos estabelecidos pelos planejamentos das empresas (OLIVEIRA, 2006).

O processo de planejamento organizacional é um processo contínuo, que envolve quase que simultaneamente a formulação, a implementação e a reformulação do

planejamento. Esta dinâmica é, por essência, o PDCA (*plan-do-check-act*) que consiste em um método iterativo de gestão de quatro passos, utilizado para o controle e melhoria contínua de processos e produtos (MARIANI, 2005).

Porter (1985 *apud* Schneider *et al.* 2009) desenvolveu a ideia de cadeia de valor ou *value chain*, que foi uma visão empresarial revolucionária para a época que, basicamente, estratifica a organização em suas atividades estrategicamente relevantes. O professor aborda que a cadeia de valor revela todos os processos que a organização faz para gerar valor aos clientes e indica os elos entre elas. Ao fortalecer as ligações entre esses processos é possível criar uma vantagem competitiva para a organização, a qual favorece o crescimento da empresa e consequentemente de seus lucros.

Neste contexto entende-se que o Gerenciamento de projetos é importante para aumentar a competitividade da empresa. Destacam-se a importância e valor dos processos no negócio:

- Processos refletem a missão, a visão e os valores da organização.
- São os processos da organização que produzem os seus resultados.
- São preciosos ativos da organização e, portanto, devem ser tratados e cuidados como tal.
- Permitem uma visão holística, na geração de um produto ou serviço.
- Os processos possuem foco no cliente, e não na área ou no chefe (CAVALCANTI, 2017, p.6).

As práticas Seis Sigma e Reengenharia de Processos de Negócio foram dois antecedentes intelectuais sobre qualidade em processos que deram origem ao atual BPM – *Business Process Management* (gestão de processos de negócios). O BPM é um sistema abrangente de gestão e transformação de operações organizacionais que se baseia no que se constituiu como o primeiro conjunto de novas ideias sobre desempenho organizacional desde a Revolução Industrial (HAMMER, 2013).

O Gerenciamento de Processos de Negócios é conceituado pelo guia BPM CBOK (2013), como uma disciplina gerencial que trata processos de negócio como ativos da organização. Pressupõe que os objetivos organizacionais podem ser alcançados por meio da definição, desenho, controle e transformação contínua de processos de negócio:

> (..) uma disciplina gerencial que integra estratégias e objetivos de uma organização com expectativas e necessidades de clientes, por meio do foco em processos ponta a ponta. BPM engloba estratégias, objetivos, cultura, estruturas organizacionais, papéis, políticas, métodos e tecnologias para analisar, desenhar, implementar, gerenciar desempenho, transformar e estabelecer a governança de processos (BPM CBOK, 2013, p.40).

O objetivo principal guia BPM COBK (2013) é identificar e fornecer uma visão geral das nove áreas de conhecimento em que são geralmente reconhecidas e aceitas como boas práticas:

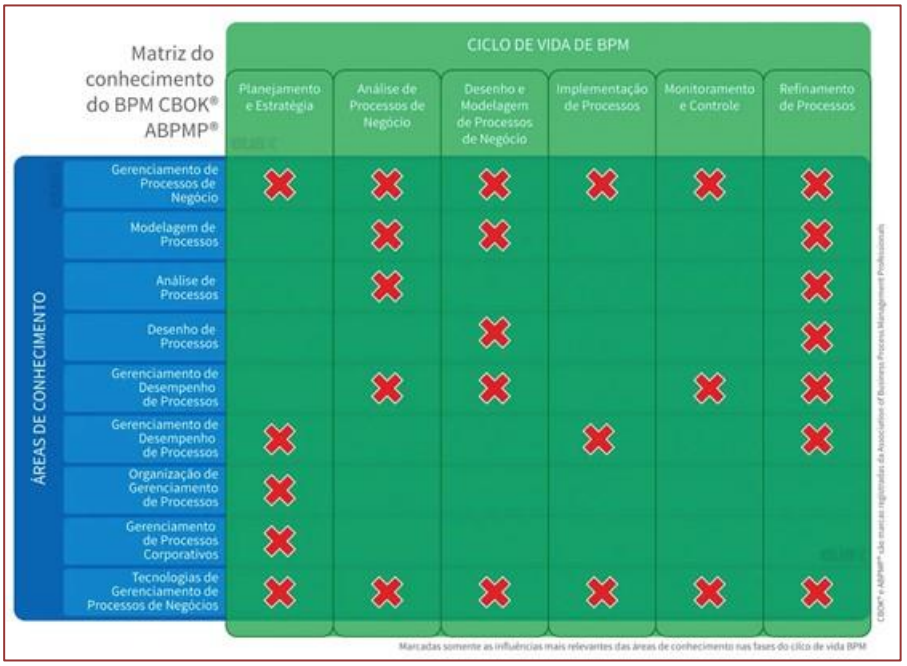
1.1. Gerenciamento de processos de negócio;
1.2. Modelagem de processos;
1.3. Análise de processos;
1.4. Desenho de processos;
1.5. Gerenciamento de desempenho de processos;
1.6. Transformação de processos;
1.7. Organização do gerenciamento de processos;
1.8. Gerenciamento corporativo de processos;
1.9. Tecnologias de BPM.

No gerenciamento de processos há ainda um importante, porém sutil, distinção, a ser observada: gestão DE processos e gestão POR processos.

Cavalcanti (2017) coloca que na **gestão de processos** os processos mapeados são monitorados, mantidos sob controle e verificados se estão funcionando conforme planejado. Na **gestão por processos** uma organização que é estruturada, organizada, mensurada e gerenciada em torno de seus processos de negócio. A organização é criada com visão voltada para a realidade externa, gerenciamento horizontal e trabalho orientado ao processo como um todo. Processos possuem um dono claramente definido.

A organização empresarial tradicional abarca a filosofia da gestão por funções, baseada em departamentos estanques e isolados. Este modelo tem uma organização vertical e funcional e, assim, lida com o modelo de gestão de processos. Já a gestão por processos apresenta-se como tendência atual da administração estratégica pois este modelo valoriza a estrutura horizontal, interdepartamental e baseada na divisão de responsabilidades, comunicação e transferência de informações (MÜLLER, 2003).

Figura 2 – Matriz do conhecimento do BPM CBOK



Fonte: Eaux Consulting (2011)

Grande parte dos diagnósticos da construção civil, segundo Vieira e Jungles (2009), indica que muitos problemas do setor como baixa produtividade, retrabalho e perdas, têm entre as principais causas a falta de adequações das informações e controles na gestão de processos. Isso, de acordo com os autores, implica em observar os seus sistemas organizacionais.

3. MODELAGEM DE PROCESSOS

Para que mudanças ou estratégias possam ser implementadas com sucesso nas organizações, é necessário – além de um ambiente propício e de ferramentas, técnicas e metodologias de trabalho que suportem a execução do processo – conhecer e documentar como os processos ocorrem. Segundo Araújo *et al*. (2001, *apud* ROMANO *et al*., 2001), uma etapa comum a qualquer esforço de melhoria de processos, portanto, é a modelagem de processos.

Conforme o guia BPM CBOK (2013), modelagem de processos de negócios é o conjunto de atividades envolvidas na criação e representações de processos de negócios existentes ou propostos, de maneira completa e precisa, sendo constituída das seguintes fases:

Figura 2 – Ciclo de vida de um projeto de modelagem de processos

Fonte: Rubens Cavalcanti (2017)

3.1. PLANEJAMENTO

Nesta fase deve-se ser feito um plano e uma estratégia dirigida a processos para a organização, onde sejam analisados seus objetivos. Aliado a isto, deve-se prover ainda uma estrutura e um direcionamento contínuo de processos centrados no cliente. Nesta fase também são identificadas e elencadas as responsabilidades e papéis organizacionais relacionados à gerência de processos. Macroatividades do planejamento:

- contextualização;
- cadeia de valor agregado.

3.2. MAPEAMENTO (AS-IS)

Fase que diz respeito a compreender os atuais processos organizacionais no contexto das metas, objetivos desejados e organização como um todo. Durante esta etapa são vistos pontos como: objetivo de modelagem de negócios, cenário do negócio que será modelado, principais *stakeholders* e escopo da modelagem. A análise é alimentada por técnicas e metodologias altamente difundidas que facilitam a obtenção do contexto e diagnóstico da atual situação do negócio: *brainstorming*, grupo de trabalho com foco no processo, entrevista, cenário, questionário e técnica 5W2H. Macroatividades do mapeamento:

- análise documental;
- desenho;
- fatores de desempenho de processos;
- constatações, riscos e impactos.

3.3. REDESENHO (TO-BE)

Fase relativa à criação de especificações dos processos dentro do contexto dos objetivos de negócios, objetivos de desempenho de processo, fluxo de trabalho, aplicações de negócio, plataformas tecnológicas, recursos de dados, controles financeiros e operacionais, e integração com outros processos internos e externos. Pode ser executada tanto para o mapeamento dos processos atuais da organização a serem aperfeiçoados, quanto para novos processos propostos na modelagem. Macroatividades do resenho:

- proposições de melhorias;
- consolidação de riscos e controles;
- redesenho;
- especificações de indicadores;
- recomendações e resultados;
- especificação para automação.

3.4. IMPLANTAÇÃO

Fase orientada a realizar efetivamente o desenho aprovado na forma de procedimentos e fluxo de trabalhos documentados, testados e ainda considerando a criação de políticas e procedimentos novos e/ou revisados. Pressupõe-se que nas fases anteriores tenha havido a aprovação elaborado e aprovado um conjunto completo de especificações e apenas ajustes devem ser efetuados durante a implementação. Macroatividades da implantação:

- padronização de procedimentos;
- plano de implantação;
- plano de comunicação;
- plano de gestão de riscos;
- treinamento.

3.5. MONITORAMENTO E CONTROLE

A partir desta fase, avalia-se o desempenho do processo através de metas e valores relevantes para a organização e pode assim realizar atividades de melhoria, redesenho ou reengenharia. Nesta fase também podem ocorrer simulações dos processos, como forma de garantir o total funcionamento destes em sua realidade plena em cenários não convencionais, possibilitando a análise de mudanças no processo. Macroatividades do monitoramento e controle:

- operação assistida e controle de processos;
- medição de desempenho.

Na modelagem de processos uma ferramenta importante ao gestor é a notação dos processos. Neste contexto, a notação diz uma representação gráfica de atividades, tarefas, responsabilidades, papéis e fluxo de trabalho de um processo. É papel deste gestor avaliar e definir a convenção de notação a ser utilizada no gerenciamento da modelagem dos processos. O BPM CBOK (2013) apresenta um compilado das notações de modelagem mais difundidas:

- BPMN (*business process model and notation*).
- EPC (*event-driven process chain*).
- Fluxograma;
- UML (*unified Modeling language*);
- IDEF (*integrated definition language*);
- *Value Stream Mapping.*

Outro fator de sucesso de um projeto de modelagem para gestão de e por processos defendida por Cavalcanti (2017), é a adoção de um BPMO - *Business Process Management* (escritório de gerenciamento de processos de negócios) ou simplesmente Escritório de Processos. O BPMO analisa, operacionaliza e gere a lógica da gestão "de" ou "por" processos e cria uma visão sistêmica, de forma a utilizar essas análises na busca de resultados organizacionais concretos.

Todavia, as técnicas e ferramentas deverão ser adotadas pela administração de forma estratégica, avaliadas com independência e sem aplicações deliberadas de modelos ora utilizados por outras organizações.

4. ESTRATÉGIA DE IMPLANTAÇÃO DE PROCESSOS BIM

De acordo com Porter (1985 *apud* MÜLLER, 2003) a ação competitiva de uma organização significa uma escolha de um conjunto diferenciado de atividades, em relação aos concorrentes, para a entrega de um produto ou serviço de valor único, o que também pode ser definido como o posicionamento estratégico.

Em cenários de alta competitividade e baixa produtividade, como na construção civil, as empresas buscam produzir com maior eficiência. Segundo Drucker (1994 *apud* MÜLLER, 2003), inovação é a habilidade de transformar algo já existente em um recurso que gere riqueza.

No caminho por eficiência e otimização de processos, o aparato tecnológico tem função indispensável, motivo pelo qual quase todos os setores da economia mundial já absorveram algum tipo de tecnologia, sobretudo a tecnologia da informação. Neste embasamento, para apoiar o crescimento da produtividade, entidades reguladoras – como

os governos, podem exigir o uso do BIM para construir transparência e colaboração em toda a indústria (KYMMELL, 2008).

Com o intuito de promover a modernização e a transformação digital da construção, o Governo Federal do Brasil passa a considerar o BIM na estratégia nacional, formulando uma série de estratégias que pudessem orientar as ações e iniciativas do setor público e do privado, impulsionando assim a utilização do BIM no país, frente às mudanças necessárias e ao ambiente adequados para seu uso. De maneira sintética a cronologia federal brasileira seguiu a seguinte ordem de decretos:

- 1º Decreto: de 05/06/2017 – institui o Comitê Estratégico de Implementação do *Building Information Modeling* (CE-BIM), de caráter temporário e com a finalidade de propor, no âmbito do Governo federal, a Estratégia Nacional de Disseminação BIM;
- 2º Decreto: nº 9.377 de 17/05/2018 – revoga o primeiro decreto e substitui o CE-BIM pelo Comitê Gestor e publica a estratégia BIM-BR com seus nove objetivos específicos:

I. difundir o BIM e seus benefícios;

II. coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;

III. criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM;

IV. estimular a capacitação em BIM;

V. propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;

VI. desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM;

VII. desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;

VIII. estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM;

IX. incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

- 3º Decreto: nº 9.983 de 22/08/2019 – revoga o segundo decreto readequando as estratégias anteriores à nova composição ministerial do governo federal;
- 4º Decreto: nº 10.306 de 02/04/2010 – correlaciona-se ao decreto anterior (nº 9.983/2019), estabelecendo a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, referentes a construções novas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM, conforme determinam as fases de implantação:

I. Primeira fase, a partir de 1º de janeiro de 2021: projetos de arquitetura, de estruturas e sistemas prediais; avaliação e detecção de interferências; extração automatizada de quantitativos; geração automatizada de documentação gráfica.

II. Segunda fase, a partir de 1º de janeiro de 2024: atividades da fase anterior acrescidas da orçamentação e planejamento de obras; projetos de como construído (*as-built*).

III. Terceira fase, a partir de 1º de janeiro de 2028: atividades das fases anteriores acrescidas das atividades do pós-obra como gestão e operações.

Chaves *et al.* (2014) observam que o apoio governamental (*top-down*) para implementação BIM pode direcionar todo o setor da construção civil para uma maior utilização da plataforma e criar um ambiente ativo e uniforme para uma ampla aceitação do seu desenvolvimento. No desdobramento das ações governamentais para a implementação nas organizações, os autores corroboram também a visão de diversos pesquisadores a respeito das sequencias de passos na implementação estratégica do BIM:

- Eastman *et al.* (2011): definir objetivos claros para o negócio, estabelecer métricas para avaliar o progresso da implementação, fazer um exercício teste, realizar um projeto piloto, participar ativamente dos esforços de implementação.
- Smith e Tardif (2009): alinhar a estratégia de implementação com as tendências tecnológicas, avaliar os riscos envolvidos, delimitar uma abordagem sistemática para a implementação, promover uma mudança cultural a partir da gestão da informação colaborativa, avaliar a capacidade da equipe, usar a tecnologia para aumentar a confiabilidade e reduzir o risco na troca de informações e gerenciar expectativas.
- Deutsch (2011): estabelecer o comprometimento com a diretoria, desenvolver um plano de implementação, selecionar um projeto piloto e um time para iniciar a implementação, contratar uma consultoria BIM, configurar um treinamento inicial, mudar o vocabulário e a percepção, avaliar o plano de implementação, criar um manual BIM e replicar o processo para novas equipes e iniciar novos projetos com o processo BIM.
- Uthman (2011): identificar os objetivos da organização, selecionar e treinar o time, testar e realizar um teste piloto.
- Codinhoto *et al*. (2011): identificar e entender quais são os atuais problemas que a organização possui, quanto eles custam (em termos de tempo, pessoal e recursos), o quanto estes problemas poderiam ser melhorados com BIM, qual o valor do investimento para implementar o BIM (treinamento do pessoal, aquisição de software, mudança nos processos necessários), além de, avaliar os níveis de capacidade e de maturidade da empresa em relação ao BIM.

Neste contexto, os objetivos da implementação BIM, portanto, deverão ser coerentes com os objetivos estratégicos da organização, tendo em vista o aperfeiçoamento dos seus processos e atividades da cadeia de valor.

Considerando que algumas empresas atuam fases distintas do ciclo de vida do empreendimento, o projeto de implementação BIM poderá, portanto, prever várias etapas de implementação, com a definição dos casos de usos BIM que serão realizados, conforme as prioridades estratégicas.

Nesta dinâmica de análise, as técnicas e abordagens aplicáveis na formulação das estratégias empresariais se fazem pertinentes. Isatto (2016) analisa que a matriz SWOT (acrônimo de *Strengths, Weakness, Opportunities e Treaths*) é um instrumento importante para realizar a análise do ajustamento estratégico de uma organização, possibilitando uma avaliação da relação entre os fatores que compõe os ambientes interno e externo da organização.

Figura 4 – Matriz SWOT de uma possível implantação BIM

Ambiente externo		Ambiente interno	
Oportunidades	**Ameaças**	**Competências**	**Fraquezas**
- Redução do custo da mão de obra - Redução do número concorrentes - Amadurecimento da tecnologia BIM	- Nova Norma de Desempenho - Acirramento da concorrência com base no preço - Aumento da taxa de juros	- Grupo estável de projetistas - Experiência como uso de BIM - Gestão direta da mão de obra	- Dependência de financiamento para a produção - Produtos pouco diferenciados - Qualidade abaixo do nível de excelência do mercado

Fonte: Isatto (2016)

Vista como transformação organizacional, a decisão de adoção do BIM significa, portanto, decidir realizar uma mudança na maneira como as atividades e os processos são atualmente executados. E, para que uma mudança seja possível em um ambiente de gestão, é imprescindível o desenvolvimento de um plano de ação de implementação. Lembrando Kerzner (2006), os projetos dependem dos processos, e os processos dependem dos projetos.

Figura 5 – Gestão Organizacional de Processos e Projetos

Fonte: adaptado de PMI (2017)

Segundo o PMI (2017), projeto é "um empreendimento temporário realizado para criar um produto, serviço ou resultado único." O instituto esclarece ainda que desenvolver o Plano de Gerenciamento de Projeto ou simplesmente Plano de Projetos, é o processo de documentação das ações necessárias para definir, preparar, integrar e coordenar um projeto conforme seus objetivos específicos.

O BPM CBOK (2013), por sua vez, compreende que na modelagem de processos, o Plano de Implementação deverá estruturar a tradução da nova visão estratégica em operações (processos) da organização.

5. PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROCESSOS BIM

Conforme seus objetivos estratégicos então definidos, a organização deverá definir em seu Plano de Implementação de Processos BIM, o escopo da implementação BIM, identificar os fluxos dos processos para as atividades, estabelecer os intercâmbios de informações entres várias partes e descrever a infraestrutura que será necessária para que a empresa possa, de fato, suportar a implementação do BIM.

De acordo com Messner (2019), o *Project Execution Planning Guide,* da *Penn State University,* fornece um procedimento estruturado para criar e implementar um Plano de Execução de Projeto BIM (BEP). As quatro etapas do procedimento incluem:

1) Identificar os usos de alto valor do BIM durante as fases de planejamento, *design*, construção e operação do projeto;
2) Projetar o processo de execução do BIM criando mapas de processo;
3) Definir os resultados do BIM na forma de trocas de informações;
4) Desenvolver a infraestrutura na forma de contratos, procedimentos de comunicação, tecnologia e controle de qualidade para apoiar a implementação.

Todavia, este *framework* do BEP pode também contribuir na estruturação do Plano de Implementação de Processos BIM, em especial no momento de implantação do projeto-piloto da implantação.

A entidade ABDI (2017) o Plano de Implementação de Processos BIM deverá ser capaz de alcançar os seguintes valores:

- As partes envolvidas deverão entender e comunicar com clareza os objetivos estratégicos da implementação do BIM;
- As diferentes áreas e empresas envolvidas deverão entender seus papéis e responsabilidades no processo de implementação;
- A equipe deverá ser capaz de desenvolver um processo de execução bem adequado para as práticas negociais de cada um dos seus membros e fluxos de trabalho organizacionais típicos;

- O plano deverá definir recursos adicionais, treinamentos e outras competências necessárias para garantir sucesso na implementação BIM para as utilizações pretendidas;
- O plano deverá fornecer um referencial para descrever o processo para futuros participantes que possam ser adicionados ao projeto;
- Os departamentos deverão ser capazes de definir uma linguagem que garanta que os participantes no projeto cumpram as suas obrigações;
- O plano inicial deverá fornecer metas que permitam o acompanhamento da progressão ao longo da implementação do projeto.

Em continuidade às referências da ABDI (2017), após definidos os objetivos estratégicos a se atingir com a implementação do BIM, o Plano de Implementação de Processos BIM deverá prever:

1. Metas e prazos para a implantação BIM;
2. Infraestrutura tecnológica;
3. Desenvolvimento de habilidades BIM;
4. Modelagem dos novos processos;
5. Monitoramento: indicadores e responsáveis.

Na modelagem dos novos processos há que se destacar, como investigou Carezzato (2018), que o BIM está impactando as práticas tradicionais de trabalhos na área da construção civil em todo o mundo, principalmente no que diz respeito à reconfiguração de processos e protocolos de responsabilidades, bem como nas práticas do gerenciamento destes novos projetos. Dentre os países que desenvolvem normativas BIM, o Reino Unido e os EUA lideram em número de documentos que apoiam as normas BIM também de outros países. Assim, neste referencial internacional, destaca-se a ISO 19650:2017. O padrão ISO 19650, portanto, é um padrão internacional para gerenciamento de informações ao longo de todo o ciclo de vida de um ativo construído usando o BIM, que deve ser considerado na proposição destes novos processos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo é suplementar ao capítulo “Gerenciamento de Projetos aplicados ao BIM”. Conforme discorrido neste texto, o Gerenciamento de Processos e o Gerenciamento de Processos possuem inter-relação e, até mesmo, aspectos de sobreposições no tocante ao planejamento e à operacionalização da gestão.

Assim como foi destacada a importância de se considerar a ISO 19650:2017 para elaboração dos processos BIM, é indispensável também considerar que, por abranger todo o ciclo de vida do empreendimento, diversas são as normas técnicas que devem consideradas nesta modelagem, sejam elas específicas ao BIM ou não.

E, embora os usos e a terminologia das dimensões do BIM (3D, 4D, 5D, 6D, nD), estejam amplamente disseminadas e aceitas, é fundamental evocar que as especialidades da construção civil permanecem incombatíveis e, no mesmo caminho, é mandatório considerar as respectivas normativas nacionais e internacionais na modelagem de processos BIM.

REFERÊNCIAS

[1] ABDI. GUIA 6 – A Implantação de Processos BIM. A Implantação de Processos BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. – Brasília, DF: ABDI, 2017. vol. 6.

[2] ABNT NBR ISO 9000:2015. Sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

[3] ABPMP BRAZIL. BPM CBOK V3.0. Guia para o gerenciamento de processos de negócio: corpo comum de conhecimento. São Paulo: ABPMP, 2013.

[4] CAREZZATO, G. G. Protocolo de gerenciamento BIM nas fases de contratação, projeto e obra em empreendimentos civis baseado na ISO 19650. 2018. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

[5] CAVALCANTI, R. Modelagem de processos de negócios: Roteiro para realização de projetos de modelagem de processos de negócios. Rio de Janeiro: Brasport, 2017.

[6] CHAVES, F. J. et al. Implementação de BIM: comparação entre as diretrizes existentes na literatura e um caso real. Anais do evento. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente construído. Maceió, 2014.

[7] EASTMAN et al. Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução: Cervantes G. Alves Filho et al. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 500 p.

[8] FALCONI, V. C. Gerenciamento pelas diretrizes: o que todo membro da alta administração precisa saber para entrar no terceiro milênio. 4. ed. Nova Lima: INDG, 2004. 31-35 p.

[9] HAMMER, M. O que é gestão de processos de negócios? In: BROCKE, J.; ROSEMANN, M. Manual de BPM: gestão de processo de negócio. Porto Alegre: Bookman, 2013, cap.1.

[10] ISATTO, E. Análise do ambiente competitivo e a formulação de estratégia empresarial. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.4247.1289. Acesso em 20 mar 2021.

[11] KERZNER, H. Gestão de Projetos: As melhores Práticas. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

[12] KYMMELL, W. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series). McGraw-Hill Education, 2008.

[13] KUNZ, J.; FISCHER, M. Virtual design, and construction: themes, case studies and implementation suggestions. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 2012.

[14] MARIANI, C. A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. RAI-Revista de Administração e Inovação, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005.

[15] MESSNER, J. et. al. BIM. Project Execution Planning Guide. v.2.2. Pennsylvania: The Pennsylvania State University, 2019.

[16] MÜLLER, C. J. Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento de processos (MEIO – Modelo de Estratégia, Indicadores e Operações). 2003. 292f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

[17] OLIVEIRA, D.P.R. Sistemas, Organização e Métodos: uma abordagem gerencial. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

[18] PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Guia PMBOK: Um Guia para o Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos. 6. ed. Pennsylvania: PMI, 2017.

[19] ROMANO, F. V et al. A importância da modelagem do processo de projeto para o desenvolvimento integrado de edificações. In: WORKSHOP DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, São Carlos. 2001.

[20] SCHNEIDER, A. B. et al. Estratégia competitiva: Michael Porter 30 anos depois. Revista de Administração da UFSM, v. 2, n. 2, p. 298-326, 2009.

[21] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in construction, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

[22] VIEIRA, A. J. T.; JUNGLES, A. E. Proposta de um modelo de integração para a gestão de pequenas empresas de construção civil. Revista P&D em Engenharia de Produção, v. 7, n. 2, p. 51-68, 2009.

Capítulo 4

Gerenciamento de projetos aplicado ao building information modeling

Denise Aurora Neves Flores
Maria Luísa Ribeiro Antunes

Resumo: Com mais projetos e organizações começando a usar o BIM de maneiras significativas, o papel e as responsabilidades de um gerente de projeto estão mudando. Na atribuição de integradores de pessoas, processos e organizações, os gerentes de projeto podem fornecer seus serviços em um nível de projeto muito mais efetivo. Como o BIM e o Gerenciamento de Projetos se concentram nos temas de colaboração, coordenação, comunicação, compartilhamento e redes, há uma sobreposição significativa entre os dois. O presente capítulo objetiva refletir sobre tão sobreposição, revisitar os fundamentos do Gerenciamento de Projetos bem como dos grupos de processos e áreas do conhecimento das práticas PMBOK e conduzir à compreensão dos princípios do Plano de Execução BIM, sustentados nos conceitos do Plano de Projetos.

Palavras-chave: Gerenciamento de Projetos. Building Information Modeling. BIM Manager. Plano de Execução BIM.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil emprega 7% da população ativa mundial e, no entanto, tem sofrido por décadas com uma produtividade extremamente baixa em relação a outros setores. Medições atuais mostram que houve um declínio consistente na produtividade da indústria desde o final dos anos 1960. Se a produtividade do trabalho na construção acompanhasse o progresso feito por outros setores nos últimos 20, estima-se que isso poderia aumentar um valor adicional ao setor de US$ 1,6 trilhão por ano (BARBOSA *et al*. 2017).

A cadeia da construção é altamente fragmentada e, muitas vezes, o resultado é um gerenciamento e execução de projetos insatisfatórios, habilidades insuficientes, processos de projetos (*design*) inadequados e pouco investimento em desenvolvimento de habilidades, P&D e inovação.

As maiores oportunidades na melhoria da produtividade do setor, segundo Barbosa, *et al*. (2017), estão no gerenciamento aprimorado de projetos - do *design* à execução, e na adição de tecnologia digital em todo ciclo de vida do empreendimento.

Neste contexto, o BIM - *Building Information Modeling* (Modelagem da Informação da Construção) oferece amplas oportunidades para impulsionar um ambiente construído mais eficiente.

> Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção. (EASTMAN *et al*., 2014, p.1).

O BIM, como compreensão de construção virtual, tem relevante importância durante o ciclo de vida do empreendimento devido à sua estrutura descritiva e paramétrica aplicada ao longo dos processos (fases) pois considera todas as atividades, produtos e elementos que estarão contidos na edificação.

De acordo com Kunz e Fischer (2012), *Virtual Design and Construction* ou Construção Virtual, é a simulação digital da integração multidisciplinar dos dados e parâmetros do projeto, sua classificação e os processos envolvidos em seu desenvolvimento, satisfazendo de informações e experimentações todos as partes interessadas no projeto.

Esta modelagem virtual é, portanto, um banco de dados que inclui o modelo tridimensional tecnicamente adequado, com suas propriedades, componentes, códigos de classificações de serviços, permitindo o desenvolvimento e integração de todos os serviços dentro de todas as fases do edifício: projeto, planejamento, orçamento, análises e simulações diversas, manutenção e controle.

Assim, a modelagem paramétrica do BIM contém a base de informações multidisciplinares, que proporcionará os dados necessários à continuidade do trabalho colaborativo dos demais *stakeholders* (planejadores, construtores, fabricantes, mantedores) envolvidos no ciclo de vida do empreendimento.

Entretanto, segundo Montague (2015), o BIM *Manager ou* Gerente BIM, tende a desempenhar um papel limitado na implementação e usos mais comuns do BIM. Isso pode

dever-se à ênfase excessiva no seu uso como ferramenta de tecnologia e a um papel gerencial passivo e restrito exercido pela maioria dos gerentes.

Os BIM *managers*, todavia, devem ajudar as organizações a adotar o BIM de uma maneira mais holística e fornecer conselhos estratégicos sobre a transformação geral da organização. Para isso, devem assumir um papel mais central orientando suas funções, responsabilidades e práticas de acordo com as ampliadas práticas do *project manager*. É fundamental examinar o conjunto de conhecimentos e competências do gerenciamento de projetos em conjunto com o uso do BIM pela indústria (TULKE e SCHU MANN, 2018).

Neuhauser (2007) considera que o *project manager* ou gerente de projetos é o profissional indicado pela organização executora para cumprir os objetivos específicos de um projeto. Sua função é diferente de um gerente funcional, que normalmente está concentrado em proporcionar a supervisão da gestão de uma área específica, responsável pelo andamento do negócio principal. As habilidades do pr*oject manager,* enquanto gestor interdisciplinar, devem abranger preceitos de responsabilidade, integridade pessoal, cumprimento de regras e políticas, ética e confidencialidade, conhecimento da cultura organizacional, conduta pacífica, domínio e competência técnica.

2. FUNDAMENTOS DO GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O gerenciamento de projetos surgiu como visão sistêmica estruturada na década de 1960, predominantemente em empresas de engenharia e nas corporações que executavam projetos de natureza complexa. Os governos eram os principais contratantes deste tipo de obra e as crises econômicas da década de 1970 reduziram a capacidade de investimentos públicos, desencadeando a percepção da necessidade de aumento de produtividade nos projetos. Tal demanda, aliada às pressões externas de mercado, forçaram as empresas a aceitarem a necessidade de mudarem sua maneira de fazer negócios e gerenciar seus projetos. Os benefícios da gestão de projetos têm sido comprovados na prática por várias empresas, como:

> – A Hewlett-Packard evidenciou aumento nas vendas e na satisfação dos clientes. Com a integração de equipes projeto/produto, conseguiu reduzir os custos dos projetos, diminuir o tempo de desenvolvimento e melhorar a integração do sistema e o design dos produtos.
>
> – A 3M reduziu o tempo de desenvolvimento de produtos e, utilizando equipes integradas de projeto/produto, superou suas metas de custos e melhorou seu desempenho.
>
> – A Daimler-Chrysler diminuiu os custos dos produtos, reduziu o tempo de desenvolvimento e melhorou o design dos veículos.
>
> – O Departamento de Defesa dos EUA usou equipes integradas de projeto/produto, atingindo um custo de produto menor que o estimado, com entregas adiantadas e melhor desempenho (KERZNER, 2006, p. 24).

Segundo Prado (2004) as oportunidades de mercado podem ser resumidas em cinco grupos de iniciativas e projetos:

– Grupo I: iniciativas e projetos para melhorar a produtividade da empresa, através da inovação (novos mercados e produtos).

– Grupo II: iniciativas e projetos para lançar os produtos da corporação em mercados novos (novos mercados).

– Grupo III: iniciativas e projetos para monitorar o mercado e a concorrência, através da inteligência competitiva (competência no mercado atual).

– Grupo IV: iniciativas e projetos que melhorem e consolidem a imagem institucional da instituição (mercado como um todo).

– Grupo V: iniciativas e projetos que melhorem a capacitação tecnológica, gerencial e comunitária da organização (mercado como um todo).

Todavia, a compreensão do conceito de "Projeto" necessita sem ampliada para que, da mesma forma, o entendimento de Gerenciamento de Projetos não recaia em práticas limitantes e ineficientes.

A ABNT NBR 16.636-1 (2017) no âmbito técnico da Construção Civil, define o termo "Projeto" como:

> Representação do conjunto dos elementos conceituais, desenvolvida e elaborada por profissional legalmente habilitado, necessária à materialização de uma ideia, realizada por meio de princípios técnicos e científicos, visando à consecução de um objetivo ou meta, adequando-se aos recursos disponíveis, leis, regramentos locais e às alternativas que conduzam à viabilidade da decisão (ABNT, 2017, p.12).

Esse conceito, entretanto, induz a uma compreensão relativizada da atividade do projeto como produto de entrega de desenhos e de memoriais. Ocorre que, muito mais do que isso, espera-se que o projetista esteja, sobretudo, comprometido com a busca de soluções para os problemas de seus clientes. Neste sentido, o projeto é também compreendido na dimensão da "prestação de serviço". E, por sua vez, pode-se compreender serviço como uma combinação de recursos humanos e materiais com o objetivo de aumentar o valor de estado de alguma pessoa ou objeto, de forma a melhorar sua utilidade (MELHADO, 1994).

De conceito mais universal e não especializado, o PMI - *Project Management Institute* (2017) declara o conceito de "Projeto" como "um empreendimento temporário realizado para criar um produto, serviço ou resultado único."

Ainda segundo o PMI (2017), os projetos são frequentemente utilizados como meio de atingir o plano estratégico de uma organização, normalmente autorizados como resultado de uma ou mais das seguintes considerações estratégicas:

- Demanda de mercado;
- Oportunidade e/ou necessidade estratégica de negócios;
- Solicitação de cliente;
- Avanço tecnológico;
- Requisito legal.

Conforme a quantidade e a complexidade dos projetos nos ambientes organizacionais aumentaram, a necessidade de funções centralizadas de gestão de projetos também cresceu. A boa governança de projetos compreende o sistema de valores, responsabilidades, processos e políticas que permitem que os projetos atinjam os objetivos da organização. A fim de melhorar a execução dos projetos e evitar o desperdício de recursos novas estruturas surgiram, como o PMO - *Project Management Office* (Escritório de Gerenciamento de Projetos).

O PMO é uma entidade organizacional à qual são atribuídas várias responsabilidades relacionadas ao gerenciamento centralizado e coordenado dos projetos sob seu domínio. Podem fazer parte desta carteira tanto Projetos como Programas e Portfólios.

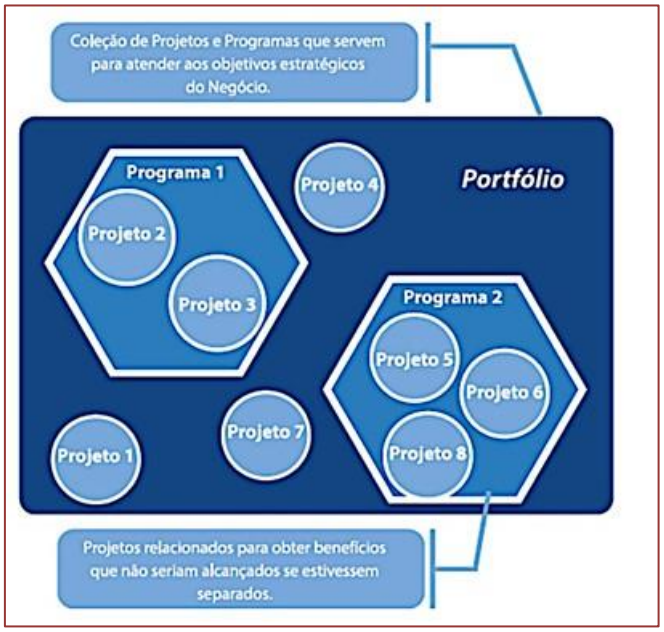
Quadro 1: Característica dos Componentes da Gestão de Projetos

Projeto	Programa	Portfólio	PMO
Produz um produto ou serviço único.	Grupo de projetos relacionados. Gerenciado usando técnicas similares.	Conjunto de programas e projetos. Suporta objetivos de negócios específicos.	Unidade Organizacional centralizadora do portfólio. Supervisiona projetos e programas.

Fonte: Adaptado de PMBOK (2017)

Portfólios referem-se a um agrupamento de projetos e programas no intuito de alcançar os objetivos estratégicos da empresa. Programas podem agrupar projetos e subprogramas em comum e sua função é, de forma coordenada, dar apoio ao portfólio. Projetos são esforços temporários empreendidos com um objetivo pré-estabelecido. Estes, por sua vez, podem estar inseridos ou não em um programa do portfólio (DE ARAÚJO e DE MEDEIROS JÚNIOR, 2017).

Figura 1: Projetos, Programas e Portfólios



Fonte: Rede Juntos (2017)

Mesmo sem a presença formalizada do PMO, para uma maior confiabilidade no controle e resultado do seu portfólio de projetos, a organização precede de um esforço coordenado para orientar e convergir seus processos.

Neste entendimento, a padronização e a comunicação dos processos, em geral, aumentam a taxa de sucesso dos projetos e permitem que a alta administração acompanhe a situação do portfólio, interagindo sempre que for necessário.

3. PMBOK: GRUPOS DE PROCESSOS E AS ÁREAS DO CONHECIMENTO DO GERENCIAMENTO DE PROJETOS

De autoria do PMI, o PMBOK - *Guide to the Project Management Body of Knowledge* (ou guia para o conjunto de conhecimentos de gerenciamento de projetos) consiste em uma padronização que identifica e conceitua processos, áreas de conhecimento, ferramentas e técnicas do gerenciamento de projetos.

Entretanto, mesmo com o objetivo de abranger os principais aspectos contidos no gerenciamento de um projeto, não deve ser compreendido como metodologia pois não apresenta peculiaridades de linguagem restritas à cultura de cada organização e não coloca modelos únicos de documentos a serem utilizados. Como coletânea de melhores práticas, o PMBOK tem reconhecida importância internacional pois descreve o universo de conhecimentos para o gerenciamento de projetos e assim influencia a maioria das metodologias existentes de gestão.

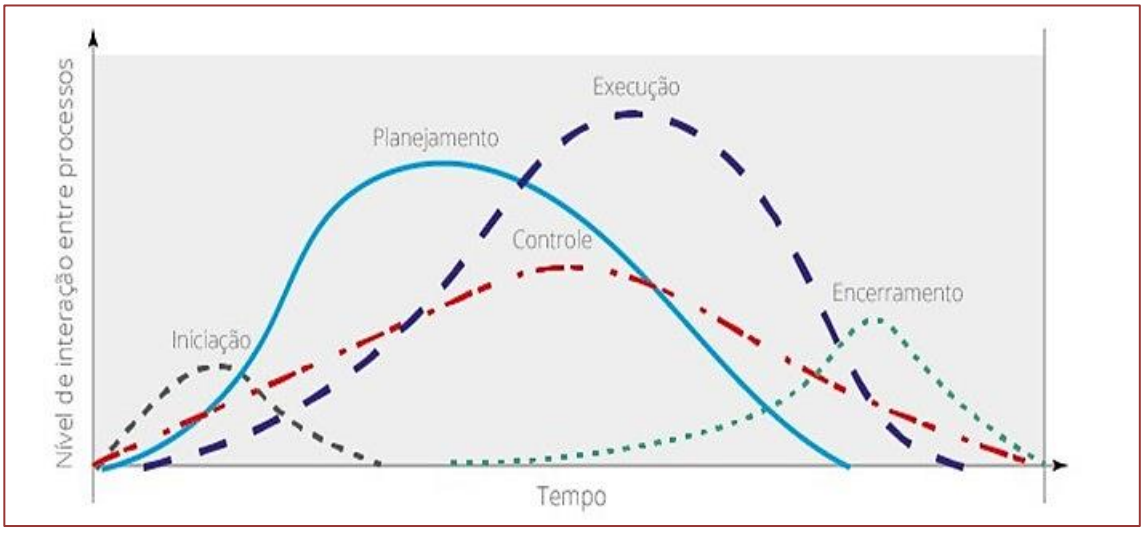
O PMBOK é revisado e atualizado a cada quatro anos. Sua primeira edição é de 1996 e, a atualmente encontra-se na sexta edição, de 2017. Nestas primeiras edições, a abordagem era tradicional e baseada em eventos onde o escopo dos projetos era bem definido. A partir da 6ª edição, as metodologias ágeis começaram a surgir para gerenciar projetos de inovação, com entrega de valor adaptativo.

Assim, atualmente, o guia contém 50 processos organizados em 5 grupos de processos (Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento e Controle e Encerramento) e em 10 áreas do conhecimento (Integração, Escopo, Cronograma, Custo, Qualidade, Recursos, Comunicações, Riscos, Aquisições e Partes Interessadas).

3.1. GRUPOS DE PROCESSOS

Os grupos de processos, também compreendidos como fases do ciclo de vida do projeto, dependem diretamente da natureza do projeto. Um projeto é desenvolvido a partir de uma ideia, progredindo para um plano, que, por sua vez é executado e concluído. Entretanto, segundo o PMI (2017), com a evolução do projeto, observa-se que as fases podem conter momentos de sobreposição, em um fluxo dinâmico de ações, verificando-se a interdependência destas fases no projeto, conforme descreve Vargas (2014):

Figura 2: níveis de interação de processos durante as fases do projeto



Fonte: Artia (2020)

I. **Iniciação:** fase inicial do projeto, quando uma determinada necessidade é identificada e transformada em um problema estruturado a ser resolvido por ele. Nessa fase, a missão e o objetivo do projeto são definidos, bem como as melhores estratégias são identificadas e selecionadas.

II. **Planejamento:** fase responsável por detalhar o que e como serão realizadas atividades do projeto nas dez áreas do conhecimento: integração, escopo, cronograma, custo, qualidade, recursos, comunicações, riscos, aquisições e partes interessadas.

III. **Execução:** fase que materializa o que foi planejado anteriormente. Erros cometidos nas fases anteriores ficam evidentes durante o progresso desta fase e onde grande parte do orçamento e do esforço do projeto é consumida.

IV. **Monitoramento e Controle:** fase em que o objetivo acompanhar e controlar aquilo que está sendo realizado pelo projeto. O maior objetivo do controle é comparar o *status* atual do projeto com o *status* previsto pelo planejamento, de modo a propor ações no menor espaço de tempo possível após a detecção da anormalidade.

V. **Encerramento:** fase quando a execução dos trabalhos é avaliada através de uma auditoria, os documentos do projeto são encerrados e as falhas ocorridas durante o projeto são discutidas e analisadas para o registro de lições aprendidas.

3.2. ÁREAS DO CONHECIMENTO

VI. Gerenciamento da Integração

A área de Integração interliga o projeto aos demais trabalhos realizados pela corporação. Inclui os processos e atividades necessárias para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os vários processos e atividades dos grupos de processos de gerenciamento de todas as áreas que envolvem um projeto. São atividades da área integração:

- desenvolver o termo de abertura do projeto;
- desenvolver o plano de gerenciamento do projeto;
- orientar e gerenciar o trabalho do projeto;
- gerenciar o conhecimento do projeto;
- monitorar e controlar o trabalho do projeto;
- realizar o controle integrado de mudanças;
- encerrar o projeto ou fase.

VII. Gerenciamento do Escopo

O gerenciamento do escopo descreve os processos necessários para assegurar que o projeto inclua somente as atividades necessárias, para que seja finalizado com sucesso. Dessa forma, implica definir e controlar o que será incluído ou não no projeto, dentre as seguintes atividades:

- Planejar o gerenciamento do escopo;
- coletar os requisitos;
- definir o escopo;
- criar a Estrutura Analítica do Projeto;
- validar o escopo;
- controlar o escopo.

VIII. Gerenciamento do Cronograma

Descreve os processos necessários para assegurar a conclusão do projeto dentro do prazo previsto. O planejamento e gerenciamento do tempo impactam diretamente na tomada de decisão estratégica de se implementar ou não um determinado projeto. E não somente o planejamento do tempo deve ser criterioso, mas também toda a sua medição e controle. A falência de um projeto está, muitas vezes, associada à má gestão do tempo, que envolve os recursos humanos, compromete as metas financeiras e, finalmente, a estratégia organizacional. As atividades do tempo são:

- planejar o gerenciamento do cronograma;
- definir as atividades;
- sequenciar as atividades;
- estimar as durações das atividades;
- desenvolver o cronograma;
- controlar o cronograma.

IX. Gerenciamento do Custo

Assim como na análise aprofundada do cronograma, gerenciar custos em projetos requer uma abordagem disciplinada quanto à estimativa, orçamento e controle das despesas. Este processo se inicia durante a fase de planejamento até o processo de cálculo e detalhamento do orçamento.

Esta gestão deve também considerar a otimização da tomada de decisão. A análise financeira pode incluir previsões de retorno do investimento, fluxo de caixa, análises de retorno, entre outras. São as suas atividades:

- planejar o gerenciamento dos custos;
- estimar os custos;
- determinar o orçamento;
- controlar os custos.

X. Gerenciamento da Qualidade

O gerenciamento da qualidade do projeto compreende os processos e as atividades da instituição as quais direcionam as políticas de qualidade da empresa, bem como as metas e as responsabilidades das pessoas envolvidas. O objetivo da qualidade é o de garantir que o projeto satisfaça aos critérios e necessidades pelas quais foi empreendido. Um ciclo virtuoso de qualidade proporciona melhorias de requisitos e padrões de excelência do produto. As atividades da área são:

- planejar o gerenciamento da qualidade;
- gerenciar a qualidade;
- controlar a qualidade.

XI. Gerenciamento de Recursos

Planejar o gerenciamento dos recursos tem como objetivo definir todas as atividades relacionadas ao ciclo de vida dos recursos no projeto, iniciando pela estimativa dos recursos necessários, sua aquisição, como serão gerenciados e usados, além do seu descarte quando for necessário ou realocação. Em relação aos recursos humanos, envolve identificar e documentar as funções, responsabilidades, competências necessárias e relações hierárquicas. As atividades da área de qualidade são:

- planejar o gerenciamento dos recursos;
- estimar os recursos das atividades;
- adquirir recursos;
- desenvolver a equipe;
- gerenciar a equipe;
- controlar os recursos.

XII. Gerenciamento das Comunicações

O gerenciamento das comunicações descreve os processos necessários para assegurar a apropriada e oportuna geração, coleta, divulgação, armazenamento e disposição final das informações do projeto.

Segundo o PMI (2017), um gerente de projeto passa aproximadamente 90% de seu tempo se comunicando - seja de forma escrita ou oral, formal ou informal, vertical ou horizontal e, o mau gerenciamento da comunicação é um dos fatores mais críticos para o insucesso de um projeto. As atividades da área de comunicação são as seguintes:

- planejar o gerenciamento das comunicações;
- gerenciar as comunicações;
- monitorar as comunicações.

XIII. Gerenciamento de Riscos

Descreve os processos relacionados à identificação, análise, respostas, monitoramento e controle a riscos do projeto, sejam riscos positivos ou negativos.

A gerência de risco abrange um conjunto de atividades que têm por objetivo, de uma forma criteriosa, maximizar o efeito dos fatores de risco positivos (oportunidades) e

minimizar o efeito dos riscos negativos (ameaças). Suas atividades são:

- planejar o gerenciamento de riscos;
- identificar os riscos;
- realizar a análise qualitativa dos riscos;
- realizar a análise quantitativa dos riscos;
- planejar as respostas aos riscos;
- implementar respostas aos riscos;
- monitorar os riscos.

XIV. Gerenciamento das Aquisições

O gerenciamento das aquisições do projeto inclui os processos necessários para comprar ou adquirir produtos ou serviços externos à organização. O seu gerenciamento é abordado sob o aspecto do comprador em relação comprador-fornecedor, e tal relação pode ocorrer em muitos níveis em um único projeto. Suas atividades são:

- Planejar o gerenciamento das aquisições;
- conduzir as aquisições;
- controlar as aquisições.

XV. Gerenciamento das Partes Interessadas

Descreve os processos necessários para identificar as partes interessadas, priorizá-las e desenvolver estratégias para quebrar suas resistências e aumentar seu engajamento. As atividades da área de partes interessadas são as seguintes:

- identificar as partes interessadas;
- planejar o engajamento das partes interessadas;
- gerenciar o engajamento das partes interessadas;
- monitorar o engajamento das partes interessadas.

3.3. PLANO DE PROJETOS

Segundo o PMI (2017), desenvolver o Plano de Gerenciamento de Projeto ou simplesmente Plano de Projetos, é o processo de documentação das ações necessárias para definir, preparar, integrar e coordenar todos os planos das dez áreas do conhecimento do gerenciamento.

Segundo Vargas (2014), a fase de planejamento é responsável por detalhar tudo aquilo que será realizado pelo projeto, incluindo cronogramas, interdependências entre

atividades, alocação dos recursos envolvidos, análise dos custos etc. Ações feitas para que, no final dessa fase, o projeto esteja suficientemente detalhado para ser executado e controlado sem dificuldades e imprevistos. Após a aprovação do Plano de Projetos, a Linha de Base do projeto é definida para monitoramento do desempenho do projeto.

A Linha de Base representa um conjunto de dados do projeto nos quais as atividades são planejadas, controladas e serve para comparar o que está sendo executado com o que foi aprovado. Pode ser percebida como uma cópia estática dos dados aprovados no planejamento, no momento de início de execução do projeto. Tais itens são monitorados, controlados e relatados de forma independente e, posteriormente, quando reintegrados tornam-se a linha de base de medição de desempenho. Usualmente a Linha de Base do projeto, contida no Plano de Projetos, contém marcos do planejamento como: escopo, cronograma, custo e qualidade.

3.4. GERENTE DE PROJETOS

O *Project Manager* ou Gerente de Projetos é o profissional indicado pela organização executora para cumprir os objetivos específicos do projeto. Sua função é diferente de um gerente funcional, que normalmente está concentrado em proporcionar a supervisão da gestão de uma área específica responsável pelo andamento do negócio principal.

As habilidades do gerente de projeto - enquanto gestor interdisciplinar, devem abranger preceitos de responsabilidade, integridade pessoal, cumprimento de regras e políticas, ética e confidencialidade, conhecimento da cultura organizacional, conduta pacífica, domínio e competência técnica.

Como “Integrador do Projeto”, o papel principal que todo gerente de projeto desempenha em projetos é reunir um grupo distinto de especialistas e integrar seu conhecimento em um projeto edificável que atenda aos objetivos e requisitos de custo, qualidade, segurança, sustentabilidade e cronograma e gere valor para o patrocinador do projeto, membros da equipe do projeto e usuários finais.

Em linhas gerais, o BIM *Manager* também deve participar e garantir as atividades BIM do projeto, em nome do seu patrocinador ou cliente. No entanto, antes que essas atividades possam ser realizadas, o gerente de projeto deve ajudar a formar uma equipe com o conjunto de habilidades necessárias e conhecimento de BIM. Uma vez iniciado o projeto, o gerente do projeto também será responsável por coordenar os processos de Produção e Gestão da Informação. As subseções a seguir fornecem detalhes adicionais sobre essas atividades importantes.

4. GERENCIAMENTO DE PROJETOS BIM: COLABORAÇÃO, COORDENAÇÃO E COMPATIBILIZAÇÕES

O uso de *Building Information Modeling* (BIM) ajuda a melhorar a produtividade conforme o andamento dos projetos, pois todas as informações estão contidas em um único local. As ferramentas BIM são baseadas em modelos 3-D e ajudam os planejadores a evitar conflitos de projeto. Desta fora, algumas empresas estão explorando a adição de mais usos do BIM, como custo, tempo e recursos, para facilitar o gerenciamento do projeto na fase de execução, bem como facilitar a manutenção durante as operações.

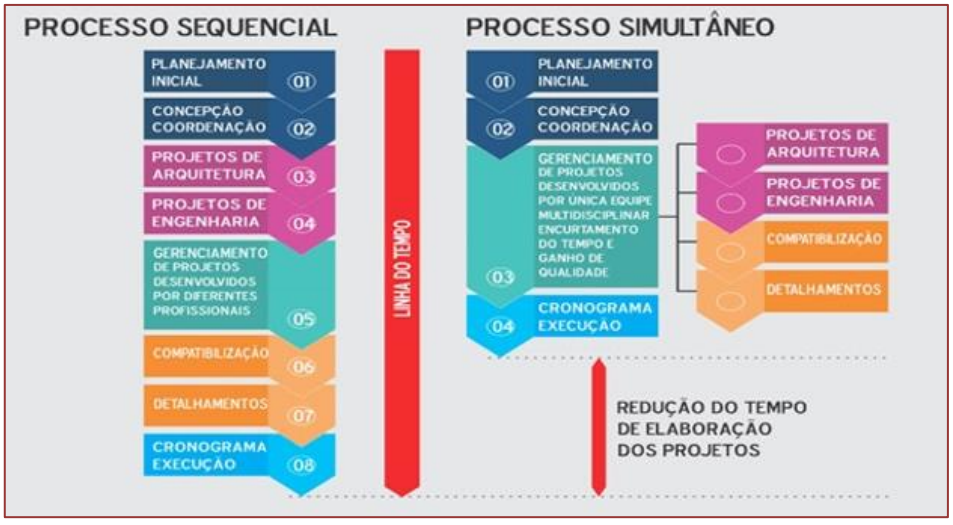
Neste sentido, a compreensão do uso destes modelos virtuais paramétricos voltados à simulação da construção, ou construção virtual, alinha-se à compreensão da aplicabilidade do projeto voltado à produção.

Entretanto, a mentalidade do projeto voltado à produção, tem raízes em um processo de projeto fragmentando, já em desuso por outros setores.

Na indústria seriada de manufatura, havia uma cultura disseminada de que os engenheiros responsáveis pelo projeto do produto eram treinados apenas nos aspectos técnicos de suas especialidades. Segundo Melhado (1994), alguns autores denominam esta mentalidade como "projeto sequencial" e apontam que empresas adotaram por muito tempo esse modo de pensar de projeto, no qual, uma etapa do processo só é iniciada após o término da outra, desencadeando uma falta de interação entre as partes interessadas. Além de falhas na comunicação, neste modelo havia também ausência de mecanismos de coordenação eficientes entre os processos envolvidos.

A indústria seriada, então, desde a metade do século 20, percebeu a necessidade de aumentar a produtividade e empreendeu algumas iniciativas para derrubar as barreiras do projeto sequencial, dando origem a uma nova filosofia de projetar, que se caracteriza pelo projeto simultâneo voltado à produção.

Figura 3: Projeto Sequencial e Projeto Simultâneo



Fonte: Manual BIM CBIC (2016)

O projeto simultâneo, portanto, pressupõe que haja trabalho em equipe, comunicação sistemática, equipes multidisciplinares que propiciem melhor desempenho e menores prazos na elaboração do projeto.

Por se constituir de modelos[1] virtuais, o BIM possui capacidade de obter todos os parâmetros necessários para simulações e análises simultâneas, relativas a todas as etapas do processo de construção: da concepção ao uso.

Assim, como integradores de pessoas, processos e organizações, os gerentes de projeto podem utilizar o BIM para fornecer seus serviços em nível de projeto e

[1] **Modelo**: sm 1. Aquilo no qual alguém se pauta para construir outra coisa idêntica. 2. Representação, em escala reduzida, de objeto a ser reproduzida em dimensões normais.

organização de uma maneira muito mais eficaz, conduzindo formatos de colaboração em um ambiente de dados comum e aumentando a eficiência operacional das equipes de projeto.

Dado que o gerenciamento de projetos e o BIM e se concentram nos temas de comunicação, colaboração, coordenação, e compartilhamento, há uma sobreposição e uma combinação positiva entre os dois.

Todavia, na prática da gestão BIM, comumente observa-se um baixo discernimento entre os termos gerenciamento, coordenação e compatibilizações de projetos, que pode acarretar gestões falhas.

Conforme mencionam as seções anteriores, o Gerenciamento de Projetos se relaciona com a estratégia organizacional, na medida em que sua importância é garantir o êxito do planejamento estratégico através da aplicação de processos, detalhamento e monitoramento das atividades a serem executadas.

No contexto da Construção Civil, assim como define "Projeto", a ABNT NBR 16.636-1 (2017) também qualifica o entendimento sobre a Coordenação de Projetos:

> Atividade técnica, realizada por profissional habilitado, voltada a coordenar e efetuar análise crítica das interfaces dos projetos das diversas especialidades voltadas a uma construção e assessorar a gestão do empreendedor e as demandas dos profissionais envolvidos na realização da obra, de modo a alcançar a eficácia e à melhoria da eficiência nesses processos e projetos, gerenciando as áreas de conhecimento, escopo, custo, qualidade, aquisições, recursos humanos, comunicações, riscos, tempo e partes interessadas em sua total compatibilização (ABNT, 2017, p.5).

Melhado (1994) faz compreender que, enquanto o Gerenciamento de Projetos compreende o conjunto de ações estratégicas envolvidas no planejamento, organização, direção e controle do Projeto, a Coordenação de Projetos ocupa-se de operacionalizar e orientar as atividades técnicas especializadas do Projeto.

A compreensão de Novaes e Franco (1997) acerca da Coordenação corresponde a uma atividade proativa, de harmonização das informações, tendo a função de garantir que as soluções adotadas tenham sido suficientemente abrangentes, integradas e detalhadas e que, após terminado o projeto, a execução ocorra contínua, sem interrupções e improvisos.

Por Compatibilização, Romano (2003) entende a atividade de integrar projetos correlatos inerentes à determinada obra, visando ao perfeito ajuste entre os mesmos, de forma a eliminar ou minimizar os conflitos, simplificando a execução. Tratando-se, portanto, de uma ferramenta para a revisão e análise das soluções técnicas propostas pelos projetistas de arquitetura e projetos complementares.

Callegari e Barth (2007) complementam que Compatibilização compreende, também, a ação de detectar falhas relacionadas às interferências e inconsistências físicas.

De acordo com a AsBEA (2000), a Compatibilização pressupõe apenas a verificação da correspondência entre o projeto de arquitetura e os demais projetos a ele complementares; enquanto a Coordenação pressupõe, além da compatibilização do projeto arquitetônico com os demais projetos a ele complementares, a análise de alternativas de projeto, a definição das diretrizes multidisciplinares na edificação, que atendam aos requisitos programáticos, técnicos e financeiros das partes interessadas.

Esta breve recapitulação de conceitos da prática do gerenciamento e coordenação de projetos demonstra, portanto, que é equivocado o entendimento sobre Coordenação BIM (ou Coordenação 3D) restrito à aplicabilidade instrumental de *softwares* de coordenação visual de modelos, que executam comandos de detecção de colisões ou "*clash detection*". Esta compreensão estreita e vulgar acerca da Coordenação BIM seria o equivalente a restringir os amplos processos da coordenação à ação complementar colocada por Callegari e Barth (2007), mencionada anteriormente.

Frente aos fundamentos do gerenciamento e coordenação tradicionais de projetos discutidos, observa-se que também no ecossistema BIM, as funções e responsabilidades das diferentes partes interessadas precisam claramente ser determinadas para o processo.

Figura 4: Responsabilidades Gerente X Coordenador BIM

	Estratégia						Gestão				Produção	
Figura	Objetivos da Empresa	Pesquisa	Processo + Fluxo de Trabalho	Standards	Implementação	Treinos	Plano de Execução	Auditoria do Modelo	Coordenação do Modelo	Criação de Conteúdos	Modelação	Produção de Desenhos
BIM Manager	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Coordenador BIM	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Modelador	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim

Fonte: Toledo (2015)

Assim como no Gerenciamento de Projetos o Plano de Projetos é elemento fundamental para o trabalho do gerente de projetos, no BIM o plano de trabalho - denominado Plano de Execução BIM, é o instrumento de trabalho do BIM *Manager*, que estabelece as diretrizes do planejamento de cada projeto BIM. Assim, o Plano de Projetos BIM ou Plano de Gerenciamento de Projetos BIM, ajuda as equipes do projeto a processarem o BIM em um projeto específico.

5. PLANO DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS BIM

Para o trabalho do BIM *Manager*, o Plano de Execução do BIM ou BEP – *BIM Execution Plan*, é um documento crucial. Ele documenta os processos e procedimentos necessários para atingir os objetivos específicos do projeto BIM (MONTAGUE, 2015).

O BIM *Manager* deve avaliar os objetivos BIM ao contexto em que se insere e, em seguida, desenvolver um plano que se ajuste àquelas demandas e expectativas, à experiência da equipe do projeto e à disponibilidade de recursos técnicos e humanos. Além disso, as especificações de informações detalhadas que serão necessárias ao projeto específico como, por exemplo, o nível de detalhe em que os modelos devem ser entregues pela equipe de projeto à equipe de construção, também precisam ser determinados no BEP. O plano deve identificar e prever ainda os meios e métodos de colaboração e coordenação (KYMMELL, 2008) e deve conter os itens principais:

1. Casos de uso de BIM para cada etapa de um projeto e sua integração com as funções de gerenciamento de projetos;
2. Resultados do BIM para cada caso de uso do BIM;
3. Autor do modelo e usuários para cada entrega BIM;
4. Elementos do modelo, nível de detalhes e atributos para cada entrega BIM;
5. Processo de criação, manutenção, liberação e colaboração do BIM para cada caso de uso do BIM;
6. Ambiente de *hardware* e *software*.

Alguns países possuem linhas de orientação bem definidas para a implementação de planos de execução BIM em projetos, como é o caso dos EUA, que se baseiam no BIM *execution planning* da *Penn State University*.

Importa lembrar que se Projetos são um conjunto de atividades temporárias para resultados únicos diferem, portanto, dos Processos que são contínuos e se repetem produzindo a mesma saída de forma repetitiva.

Assim, há que se examinar que em uma organização há tanto processos que objetivam gerar novos projetos, como também há projetos que implantam processos bem como dependem de outros processos próprios.

A mesma inter-relação entre processos e projetos ocorre no contexto BIM. Do ponto de vista organizacional, pode existir um projeto em que o objetivo seja implantar os processos BIM, assim como pode haver os projetos (em) BIM que contenham os processos BIM ora implantados. De acordo com Messner (2019), a estrutura posposta pelo guia da *Penn State University* pode atender a ambos os planos:

1) Identificar os usos de alto valor do BIM durante as fases de planejamento, design, construção e operação do projeto;
2) Projetar o processo de execução do BIM criando mapas de processo;
3) Definir os resultados do BIM na forma de trocas de informações;
4) Desenvolver a infraestrutura na forma de contratos, procedimentos de comunicação, tecnologia e controle de qualidade para apoiar a implementação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo é suplementar ao capítulo "Gerenciamento de Processos aplicados ao BIM".

Segundo Kerzner (2006) os projetos dependem dos processos, e os processos dependem dos projetos. E assim, devido a esta interdependência entre o gerenciamento de processos e o gerenciamento de projetos, à medida que os projetos se multiplicam, o mesmo acontece com a necessidade de se gerenciar os processos a um nível organizacional e, por esta razão também a compreensão do Gerenciamento de Processo em BIM deve ser compreendida e trabalhada de forma combinada.

Tanto o Gerenciamento de Projetos quanto o BIM oferecem oportunidades de aumentar a eficiência na produtividade e qualidade dos empreendimentos de construção. De forma integrada e precisa, podem ainda catalisar eficiência e resultados nos projetos.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT NBR 16.636-1: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos - Parte 1: Diretrizes e terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

[2] AsBEA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. Manual de Contratação dos Serviços de Arquitetura e Urbanismo. 2. ed. São Paulo: Pini, 2000.

[3] BARBOSA, Filipe et al. Reinventing construction through a productivity revolution. McKinsey Global Institute, 2017.

[4] CALLEGARI, S; BARTH, F. Análise Comparativa da Compatibilização de projetos em três estudos de caso. In: Congresso Construção. Anais... Coimbra. 2007.

[5] DE ARAÚJO, R. E. D.; DE MEDEIROS JÚNIOR, J. V. Aplicação da Gestão de Portfólio de Projetos em uma Empresa de Engenharia Consultiva. Revista Inovação, Projetos e Tecnologias–IPTEC, v. 5, n. 1, p. 45-64, 2017.

[6] EASTMAN et al. Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução: Cervantes G. Alves Filho et al. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 500 p.

[7] KERZNER, H. Gestão de Projetos: As melhores Práticas. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

[8] KYMMELL, W. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series). McGraw-Hill Education, 2008.

[9] KUNZ, J.; FISCHER, M. Virtual design, and construction: themes, case studies and implementation suggestions. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 2012.

[10] MELHADO, S. B. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994. 294 p.

[11] MESSNER, J. et. al. BIM. Project Execution Planning Guide. v.2.2. Pennsylvania: The Pennsylvania State University, 2019.

[12] MONTAGUE, R. BIM for Project Managers: A UK Perspective, 2015. Disponível em: www.bimthinkspace.com/2015/08/bim-for-projectmanagersaukperspective.html. Acesso em 21 mar 2021.

[13] NEUHAUSER, C. Project manager leadership behaviors and frequency of use by female project managers. Project Management Journal, v. 38, n. 1, p. 21-31, 2007.

[14] PMI - PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Guia PMBOK: Um Guia para o Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos, 6 ed, Pennsylvania: PMI, 2017.

[15] PRADO, D. Gerenciamento de Programas e Projetos nas Organizações. 3. ed. Nova Lima: INDG, 2004. 179-188 p.

[16] ROMANO, F. V. Modelo de Referência para o Gerenciamento do Processo de Projeto Integrado de Edificações. 326 f. 2003. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

[17] TULKE, J; SCHUMANN, R. BIM Manager. In: Building Information Modeling. Springer, Cham, 2018. p. 293-302.

[18] VARGAS, R. V. Manual prático do plano do projeto – 5ª Edição: Utilizando o PMBOK Guide. 5. ed. Rev. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

Capítulo 5

Modelo de sustentabilidade e análise energética (BIM 6D)

Maria Luisa Ribeiro Antunes
Denise Aurora Neves Flores

Resumo: Desde a crise do petróleo, na década de 1970, a sociedade mundial tem agregado um valor diferenciado no processo de busca por tecnologias capazes de promover mudanças no setor Arquitetura, Engenharias, Construção e Operação (AECO). Muitas destas estratégias estão relacionadas com a arquitetura e o clima, abordando estratégias técnicas desde a concepção da solução arquitetônica, associada às soluções correlatas, nos sistemas complementares auxiliares. Desde então, vêm surgindo uma nova geração de consumidores com um perfil aderente aos conceitos sustentáveis, renovando assim, os votos de compromisso com as gerações futuras. Ações mundiais propostas por entidades não governamentais como Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), da United States Green Building Council GBC), a American National Standarts Institute (ASHRAE) e ARCHITECTURE 2030, têm promovido a divulgação de propostas que agregam eficiência e qualidade às soluções de projetos, propondo uma métrica (selos de desempenho) que, atualmente, foram reforçados com a publicação da Norma de Desempenho ABNT/NBR 15575: 2017. Ainda que, no Brasil, a indústria da construção civil seja referenciada por processos caracterizados por baixo nível de planejamento e desempenho ambiental, altos índices de desperdícios e pela falta de controle de qualidade das soluções propostas, o país ocupa o 4º lugar no rancking LEED, demonstrando uma reação de comportamento positiva da sociedade brasileira, neste cenário. Nas últimas décadas, tecnologias baseadas na informação digital vêm ganhando força possibilitando o aumento na capacidade de comunicação, controle, registro, armazenamento, análise e transmissão de volumes expressivos de informações complexas e sigilosas, de forma segura, confiável e imediata. Nesta direção, o Building Information Modeling (BIM) passou a ser considerado a tecnologia de maior impacto futuro para o setor, uma vez que a informação está associada a geometria e sua aplicação desde as fases iniciais de projeto fundamentam os processos decisórios, em especial, nas análises de performance energética das edificações.

Palavras-chave: Building Information Modeling. Sustentabilidade. Análise Energética.

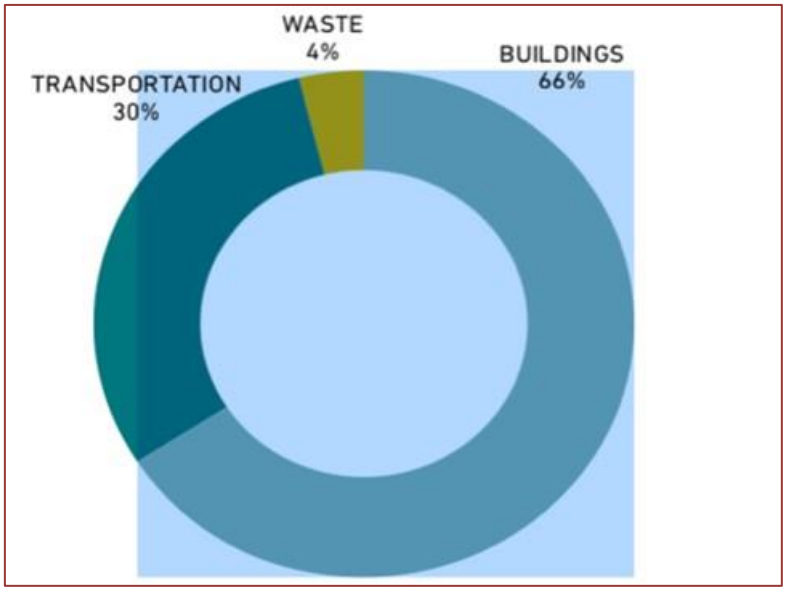
1. INTRODUÇÃO

Apesar de grande parte das soluções sustentáveis do setor AECO associarem-se às fases de concepção e projetação do ciclo de vida típico de um empreendimento, existe também uma preocupação com a fase construtiva e, especialmente, com a fase operacional, onde os resultados das soluções arquitetônica e complementares são concretizados.

A fase de operação e manutenção, além de ser a mais duradoura do ciclo, é a mais complexa, uma vez que pode contemplar todas as demais, durante a sua vigência. Como exemplo, cita-se a demanda de um empreendimento existente pela concepção e elaboração de uma intervenção (projeto de reforma e sua construção). Nestes casos, existe a demanda de adequação da operação do ambiente construído, à fase construtiva da solução de reforma proposta.

Na Figura 1 ilustra-se o percentual de representatividade, das edificações existentes, nas emissões de gases do efeito estufa GHG (*Greenhouse Gas*), registrado no programa *OneNYC*, desenvolvido pela governança do estado americano.

Figura 1 – Emissões de gases do efeito estufa por setor



Fonte: OneNYC (2015)

2. VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION (VDC)

O *Virtual Design and Construction* (VDC) ou Projeto e Construção Virtual é, segundo Fischer e Kunz (2004), a simulação digital da integração multidisciplinar dos dados e parâmetros do projeto, sua classificação e os processos envolvidos em seu desenvolvimento, satisfazendo de informações e experimentações todos as partes interessadas no projeto. A Construção Virtual é um banco de dados que inclui o modelo tridimensional tecnicamente adequado, com suas propriedades, componentes, códigos de classificações de serviços, permitindo o desenvolvimento e integração de todos os serviços dentro de todas as fases do edifício: projeto, planejamento, orçamento, análises

e simulações diversas, manutenção e controle. O VDC é um dos termos mais recentes compreendidos como um sinônimo do BIM (Ruschel *et al*., 2016).

Neste contexto, uma das maiores contribuições do BIM/VDC é possibilitar as simulações virtuais desde as fases iniciais de projeto permeando as melhores decisões delineando o escopo de soluções sustentáveis, associadas à performance construtiva e operacional compatíveis ao objetivo *mister* do uso BIM demandado.

2.1. GEOMETRIA SOLAR

A análise da geometria solar do *site* de implementação do Partido Arquitetônico é um quesito, imprescindível, para a elaboração de soluções sustentáveis. Historicamente, o homem já se preocupava com a radiação solar e o aproveitamento da luz natural, como exemplo cita-se o Pantheon, Roma (Figura 2). Construído no século II DC pelo exército romano é considerado uma obra prima da antiguidade, coroada com uma cúpula de concreto com 43 metros de diâmetro. A edificação registra o início da aplicação do material de alta resistência, graças ao agregado pozolana e é considerado um marco para a engenharia estrutural.

Figura 2 – Óculo central da cúpula

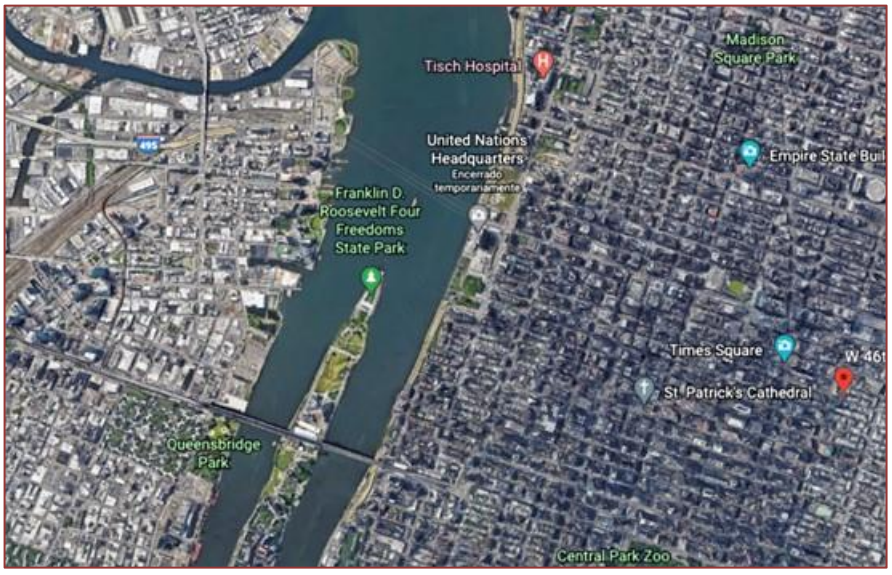
Fonte: Wikipédia (2021)

O projeto da obra considerava a geometria solar da localização, da mesma forma pode ser aplicada nos *softwares* paramétricos, utilizando o georeferenciamento do *site*. Neste contexto, são inseridas as informações de latitude e longitude que possibilitam análises da carta solar virtual, projetada em variados intervalos, ou seja, a qualquer tempo durante o período de translação ou revolução da terra.

Com os recursos possibilitados pelo *Google Earth,* gratuitamente, é possível importar as informações necessárias para a simulação energética do Modelo, contextualizando, inclusive, a realidade do entorno urbano já edificado. Vale ressaltar, que o entorno pode representar verdadeiros obstáculos, interferindo de forma relevante, a performance da solução arquitetônica proposta e de suas soluções complementares.

A modelagem orientada a objetos permite a associação de informações de propriedades físicas e mecânicas que fundamentam a simulação do comportamento destes elementos, associados à geometria solar que o *site* está georeferenciado. Desta forma, o autor de projeto arquitetônico e, respectivos, dos projetos complementares, podem realizar escolhas que garantam o nível de desempenho térmico, lumínico, acústico e sonoro desejados. Nesta direção, o ideal é que as análises iniciem com a escolha da localização do empreendimento (Estudo de Viabilidade). Na Figura 3 ilustra-se a ilha de *Manhattan* (Nova York), registrada pelo *Google Earth*.

Figura 3 – Vista aérea de Nova York



Fonte: Google Earth (2020)

O lado direito da imagem é caracterizado por edificações de alta projeção vertical (gabarito) gerando considerável percentil de sombreamento, enquanto no lado oposto, as edificações são caracterizadas por diferente padrão de gabarito, o que proporciona ao ambiente urbano, melhor aproveitamento da ventilação natural e radiação solar.

3. CENÁRIO MUNDIAL DA SUSTENTABILIDADE

Uma das maiores promessas BIM, a nível mundial, está relacionada ao Modelo de Sustentabilidade e Eficiência Energética (BIM 6D). A temática reporta às metas internacionais comprometidas por vários países ao redor do mundo, em cumprimento as medidas da Organização das Nações Unidas (ONU) e Organização Mundial da Saúde (OMS), especialmente, como um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Trata-se de um plano de ação com 169 metas construídas sobre o legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

3.1. METAS GLOBAIS

A Organização Mundial da Saúde (OMS) apresentou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável com metas para 2030, em resposta às iniciativas da ONU.

Dos dezessete ODS, oito são considerados responsabilidades permeáveis ao setor AECO, de forma direta e/ou indireta: Saúde e Bem-estar; Água Potável e Saneamento; Energia Limpa; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Responsáveis; Ação contra a mudança global do clima; Vida na água (Figura 4).

Figura 4 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: OMS (2015)

De acordo com o ciclo de vida típico do produto, a indústria da construção civil possui duas tipologias de consumo (Figura 5). A primeira delas está relacionada ao consumo de insumos naturais e manufaturados para aplicação no canteiro de obras, durante a fase construtiva (fábrica da construção civil). A segunda tipologia, está relacionada à fase Operacional (Pós-ocupação), onde o produto gerado pela indústria da construção civil se comporta como consumidor (recursos energéticos) e gerador (emissão de gases do efeito estufa).

Pode-se então considerar que o BIM tem relevante importância na sua aplicabilidade durante todo o ciclo de vida de um empreendimento. Isso se deve a estrutura descritiva e paramétrica aplicada ao longo dos processos, considerando-se as atividades, produtos e elementos que estarão contidos na edificação.

Figura 5 – Tipologias de consumo aplicado à construção civil

Fonte: Eco Building Forum (2015)

Por ocasião da pandemia do Covid-19, estudos científicos têm demonstrado como a infraestrutura básica das cidades está diretamente relacionada a saúde urbana e, indiretamente, na saúde pública. Quanto maior o índice de vulnerabilidade medida por indicadores como a falta de saneamento básico, carência de água potável, más condições de habitabilidade e baixa qualidade do transporte público de massa, maior o índice de contaminação da doença.

O cenário pandêmico confirma a influência do planejamento urbano e das soluções de engenharia na saúde urbana e, neste contexto, os resultados observados reforçam a necessidade da aderência do setor construtivo aos ODS, no cumprimento das metas estabelecidas para 2030.

4. O BIM APLICADO AO MODELO DE SUSTENTABILIDADE

É importante ressaltar que existem divergências na literatura sobre a 6ª e a 7ª Dimensão do BIM. Alguns autores referenciam o Modelo BIM de Sustentabilidade e Análise Energética ao BIM 6D e Modelo BIM 7D a Gestão de Ativos (*Facilities Management)* e outros tratam da abordagem de forma inversa.

Para esclarecer qualquer discussão, neste sentido, torna-se estratégico referenciar o uso BIM de Sustentabilidade, aliado à sua respectiva aplicação na fase do ciclo de vida. Cita-se como exemplo, o Modelo de Sustentabilidade (Certificado LEED) do Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro (2015), que já na fase construtiva contava com ações de controle de poluição e erosão de sedimentos na Baía da Guanabara (Figura 6).

Figura 6 – Museu do Amanhã

Fonte: PERI (2014)

O empreendimento, atualmente, conta com o aproveitamento das águas da Baía no sistema de climatização, diminuindo o consumo de energia e evitando o consumo de água potável nas torres de resfriamento. Essas águas ainda abastecem os espelhos d'água reduzindo em até 2º Celsius, a temperatura do ambiente. A economia no consumo hídrico soma cerca de 9,6 milhões de litros de água por ano. O exemplo ilustra que o Modelo de

Sustentabilidade BIM pode e deve ser aplicado, na fase construtiva, ao canteiro de obras (fábrica da construção civil).

Já a Gestão de *Facilities* (*FM)*, presente na fase operacional do empreendimento, têm sido um dos alvos de maior interesse comercial do setor, sobretudo, no ambiente caracterizado por alta complexidade de instalações. Nesta mesma direção, o modelo deve conciliar as soluções relacionadas aos projetos complementares, especialmente, pelo vínculo associado ao consumo hídrico e energético.

O sistema hidráulico deverá contemplar o uso racional da água, além de buscar a redução do volume de esgoto gerado. A especialidade aborda contextos ambientais relacionados ao consumo interno da edificação e na especificação de equipamentos, inclusive, para medição e controle. O sistema elétrico deverá abordar a qualidade das instalações com o objetivo de manter a segurança associado ao dimensionamento econômico. Sistemas complementares estes que fazem o Modelo BIM de Sustentabilidade e Eficiência Energética torna-se denso.

4.1. TECNOLOGIAS BIM

Existem vários *softwares* BIM específicos para atender às simulações energéticas. Alguns deles utilizam recursos na nuvem para aliviar as especificações mínimas para o *hardware* utilizado pelo usuário. A Suíte *Autodesk*, por exemplo, propõe o uso do *software* de modelagem *Revit,* associado ao motor de cálculo na nuvem possibilitado pelo *Green Building Studio,* que se conecta a plataforma do *Insight* 360 (Figura 7) permitindo que o autor do projeto possa simular, em tempo real, o modelo alterando diversas variantes.

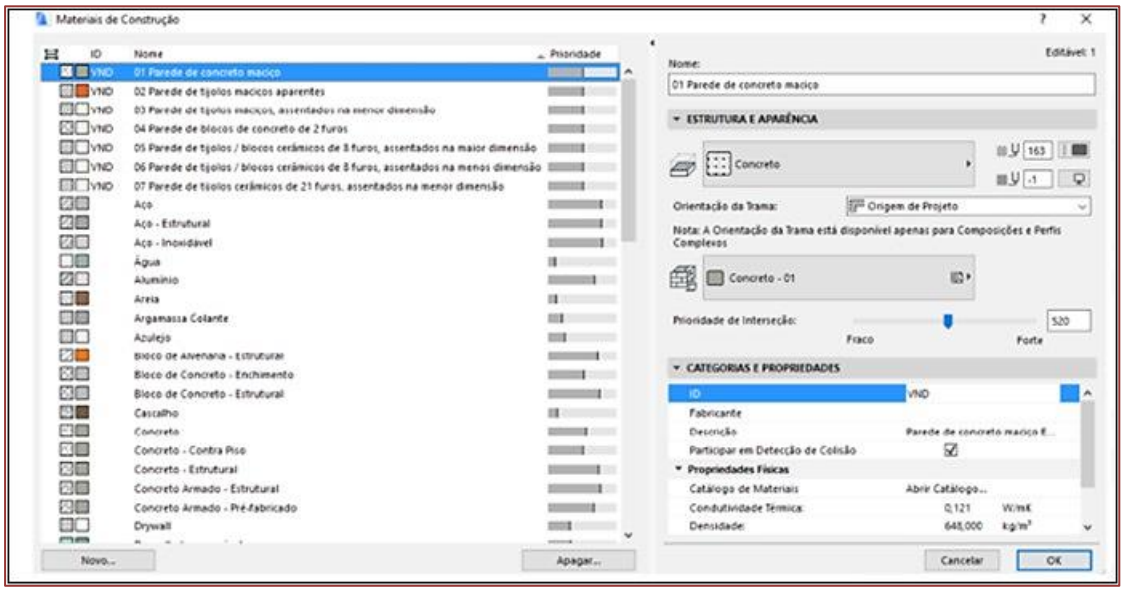
Figura 7 – Tecnologias BIM utilizadas

Fonte: Autodesk (2021)

4.2. POLÍTICAS BIM

Atendendo a ABNT/NBR 15575-4, a inserção de informações dos materiais que compõem os objetos modelados, deverá seguir a nomenclatura definida na norma brasileira. Da mesma forma, a unidade de energia deve ser adequada. Outro detalhe relevante está relacionado a classificação dos objetos conforme ABNT/NBR 15965-7 (Figura 8).

Figura 8 – Parametrização das informações



Fonte: Revit (2021)

4.3. PROCESSOS BIM

A modelagem orientada a objetos permite a associação de dados de acordo com as especificações da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e o Sistema de Classificação da Informação (ABNT/NBR 15965-7). Inicialmente, o modelo arquitetônico deve contemplar a estrutura demandada pela EAP para que os *take-offs* possam refletir o uso BIM pretendido, além de fundamentar as demais abordagens necessárias.

A coordenação BIM relacionada ao BIM 6D está sujeita a uma maior densidade de informações e no volume de disciplinas complementares, especialmente, nas propostas vinculadas ao ambiente já construído. A compatibilização multidisciplinar tem o objetivo de gerar o Modelo Federado (arquitetura e complementares) aplicado ao uso BIM de Sustentabilidade.

Neste contexto, o *Manager* BIM elabora o Plano de Execução (PEB) alinhado às expectativas do uso BIM contratado, que deverá contemplar a abordagem das zonas térmicas (*rooms, spaces e zones),* possibilitando os cálculos necessários para o dimensionamento de sistemas.

5. ESTUDO DE CASO

De acordo com Lamberts *et al.* (1999), a geometria é um dos principais fatores para o desempenho e usabilidade de uma edificação. Segundo os autores uma construção sustentável deve aproveitar, o máximo, os recursos naturais disponíveis como o vento e a iluminação solar.

O Módulo Análise Energética (BIM 6D) da turma inaugural do curso de Pós-graduação de BIM (PUC Minas, 2020) desenvolveu como trabalho final, a modelagem de diferentes Partidos Arquitetônicos, contemplando a Fase Preliminar de projeto. O objetivo geral do exercício era fundamentar o processo decisório do grupo, na escolha da geometria do Partido Arquitetônico que apresentasse a melhor performance energética.

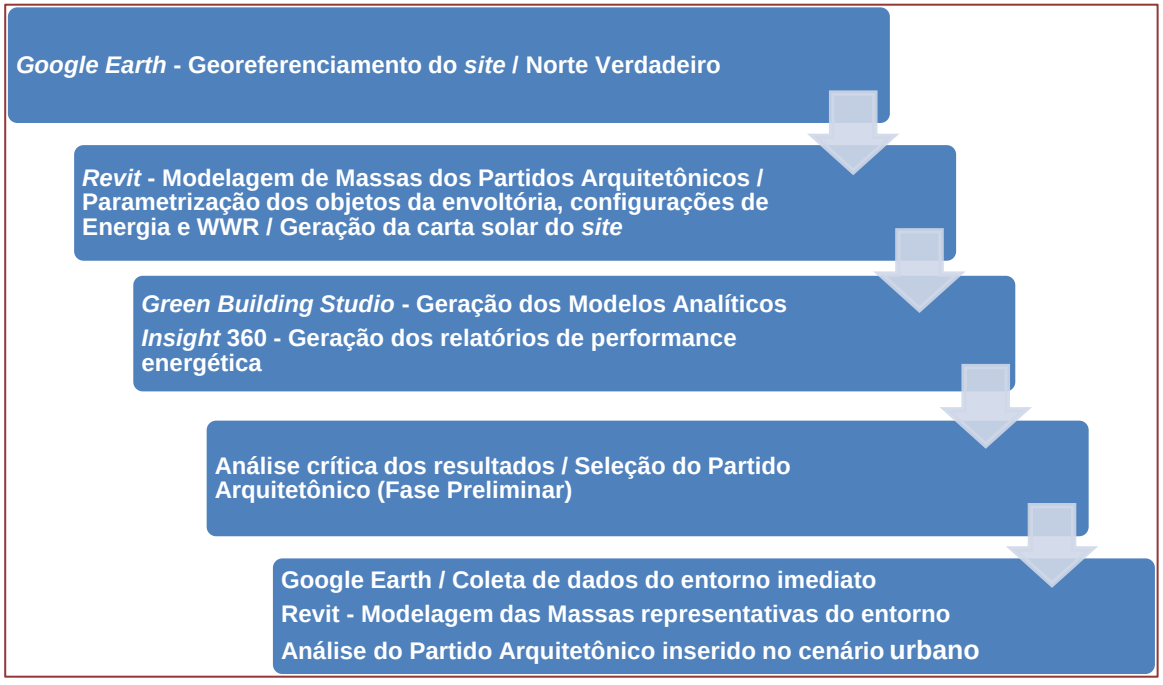
Para atingir essa meta, foram gerados relatórios energéticos que embasaram a seleção mais sustentável, utilizando a tecnologia BIM possibilitada pela suíte *Autodesk* (*Revit* + *Green Building Studio* + *Insight* 360), versão 2021.

5.1. DESENVOLVIMENTO

O fluxo de trabalho realizado (Figura 9), considerava Partidos Arquitetônicos com características técnicas idênticas, porém com geometrias diferentes. A uniformização das condicionantes foi padronizada, considerando-se o percentil de 40% (quarenta por cento) para *Window to Wall Ratio* (WWR), uso do espaço comercial e com tipologia de demanda definida em 12/5 (12 horas por dia 5 dias na semana).

A turma foi dividida contemplando os diferentes Partidos Arquitetônicos que deveriam considerar o mesmo *site* para implementação da solução adotada. Nesta direção, elegendo-se apenas um endereço, localizado na região centro-sul de Belo Horizonte. Inicialmente, utilizando o *Google Earth*, desenvolveu-se o georeferenciamento do *site* e registrou-se o Norte Verdadeiro da latitude escolhida.

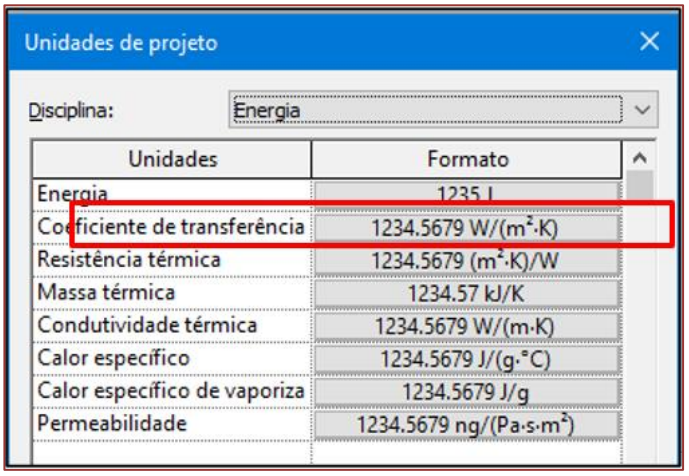
Figura 9 – Fluxo de trabalho



Fonte: Autoras (2020)

Na segunda etapa, as equipes desenvolveram a modelagem das massas ajustando a Unidade de Projeto da disciplina Energia para o padrão brasileiro (Figura 10).

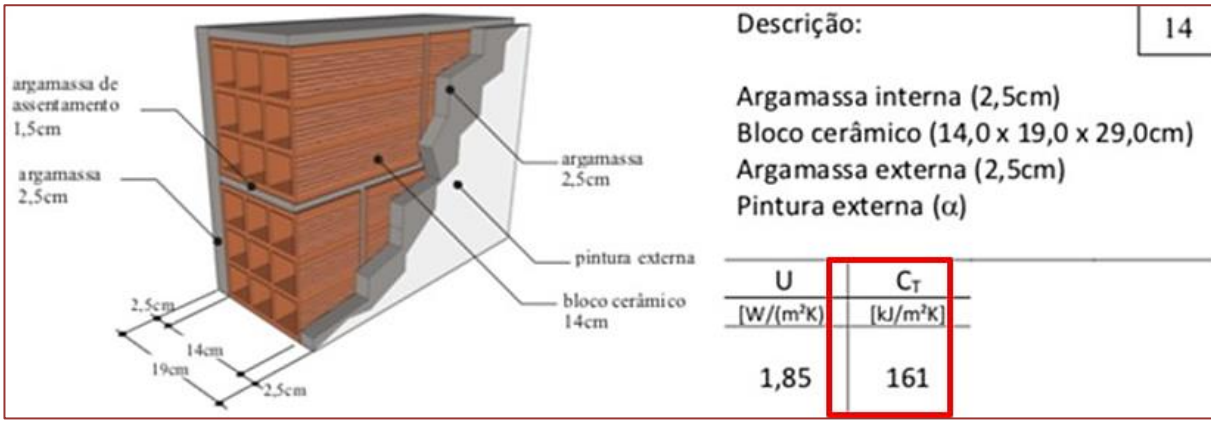
Figura 10 – Unidade de Projeto



Fonte: Revit, 2021(adaptado)

A parametrização das propriedades térmicas do objeto *Wall* foi definida pela seleção do sistema com tipologia composta por núcleo de tijolo cerâmico (14x19x29) cm, revestido externamente e internamente com argamassa (espessura de 2,5cm), considerando-se aplicação de pintura externa e argamassa de assentamento de 1,5cm, alinhado à ABNT/NBR 15575:2017 (Figura 11). O sistema é caracterizado pela condutividade térmica U = [1,85W/ (m² K)].

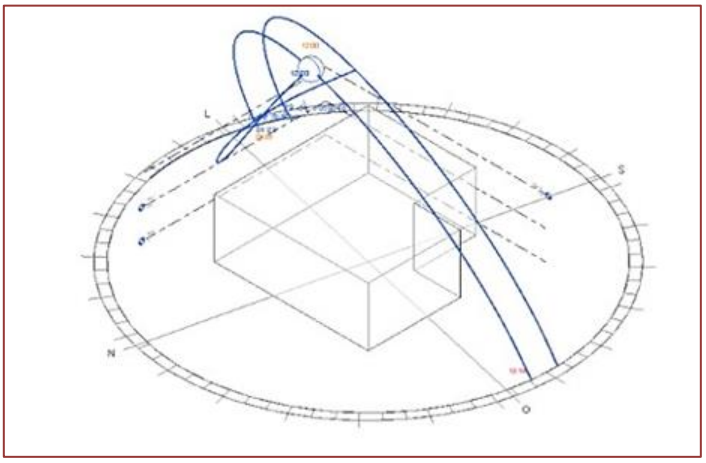
Figura 11 – Sistema de vedação vertical



Fonte: ABNT/NBR 15575-4 (2017)

A geometria dos Partidos Arquitetônicos foi proposta em um único pavimento (A= 600m²) e dois pavimentos (A= 300m² cada pavimento), alterando-se assim, as projeções horizontais das massas no *site*. Na Figura 12 ilustra-se a carta solar virtual gerada no *Revit*, pelo modelo de dois pavimentos, inspirada na situação mais crítica (solstício de verão, às 12h).

Figura 12 – Carta solar às 12h

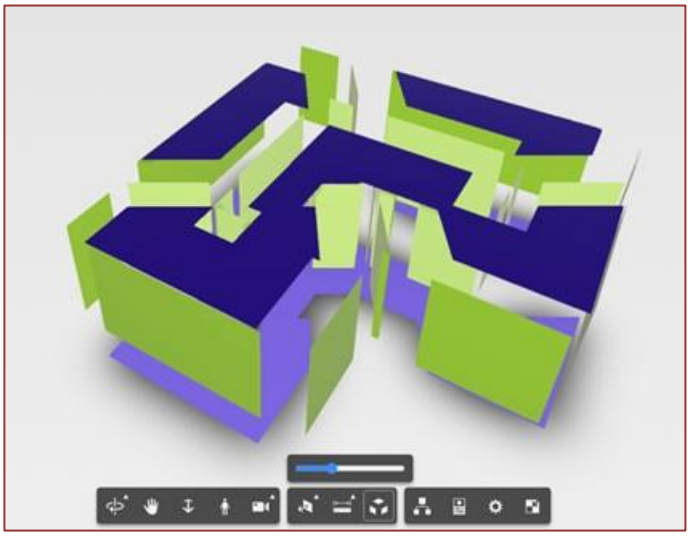


Fonte: Revit,2021 (adaptado)

Finalizada a modelagem das massas, inicia-se a terceira etapa gerando-se os respectivos modelos analíticos. Neste momento, cada modelo é enviado para a nuvem *Autodesk* e processado pelo *Green Building Studio* que gera a notificação informando que o modelo foi recebido e será processado. Logo após, realiza-se o acesso a plataforma do *Insight* 360 que viabiliza a integração do modelo com o painel de análises.

Na Figura 13 ilustra-se um dos modelos expandido e a integração que permite o autor do projeto alterar as variantes, em tempo real, gerando analises de performance energética.

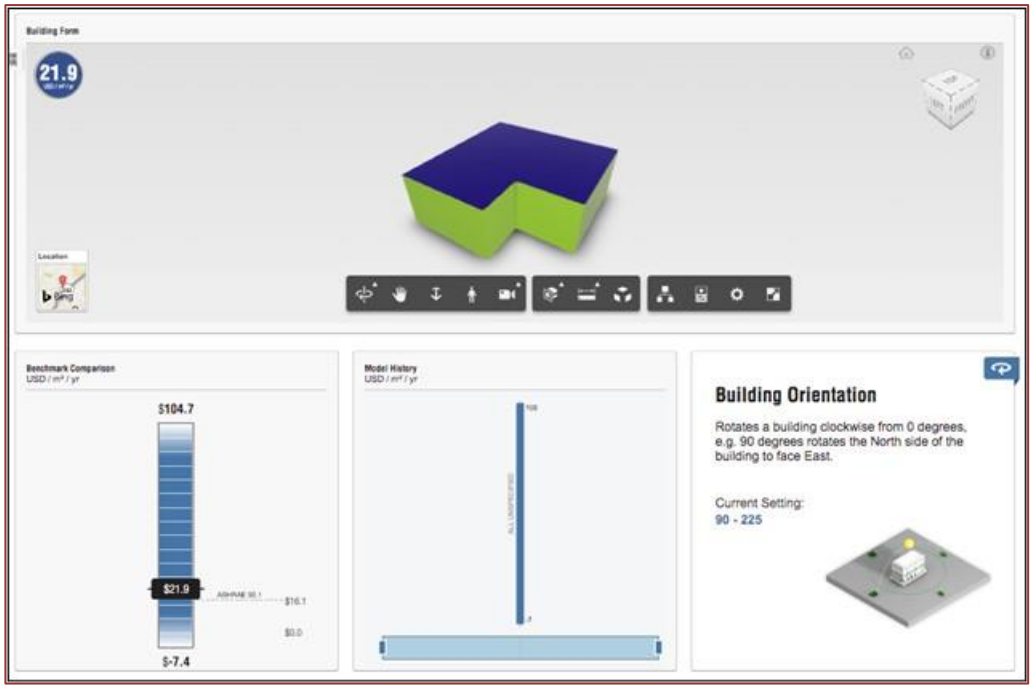
Figura 13 – Modelo Analítico



Fonte: Insight 360, 2021 (adaptado)

As condicionantes que compõem o painel permitem que o autor análise diversas alterações, em tempo real, com o objetivo de alterar a performance energética do modelo. Estas alterações são propostas por diferentes orientações cardeais (norte, sul, leste, oeste), além de inúmeras possibilidades envolvendo variações de percentis, materiais e sistemas diversos (Figura 14).

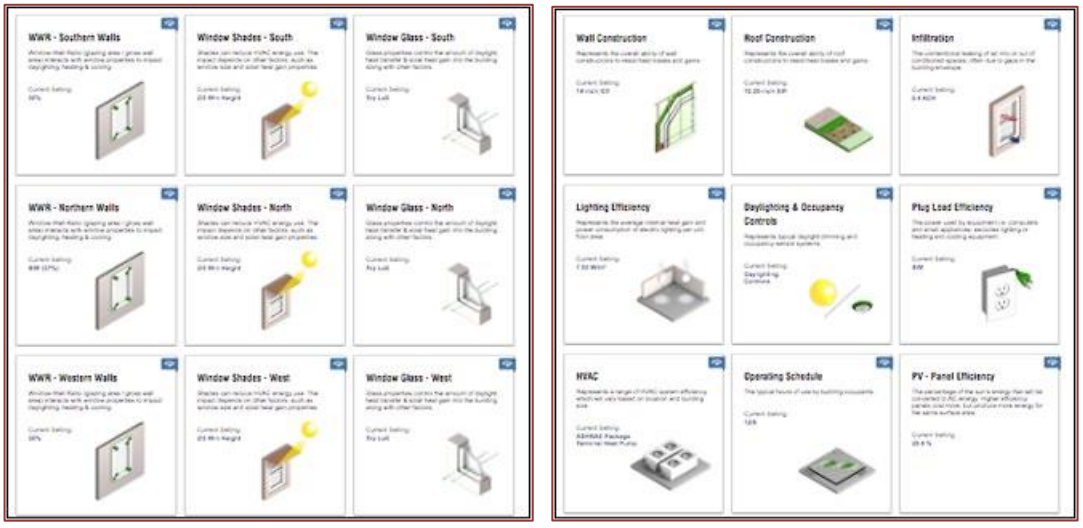
Figura 14 – Interface Insight 360



Fonte: Insight 360, 2021 (adaptado)

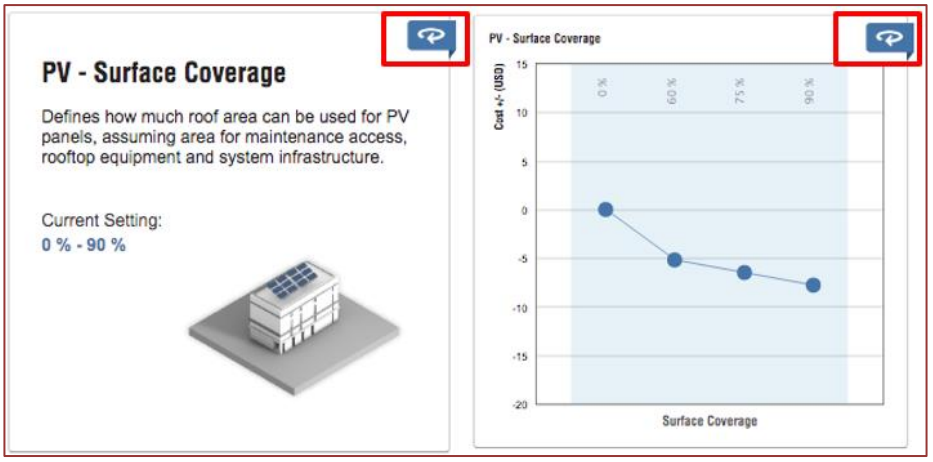
Os tópicos funcionam como comandos (Figura 15) que permitem a verificação pontual (Figura 16), da performance energética de acordo com; *WWR Walls, Windows Shades, Window Glass,* Wall *construction, Roof Construction, Infiltration, Lighting Efficiency, Dayligthing & Occupancy Controls, Plug Load Efficiency, HVAC, Operating Schedule, Panel Efficiency, Surface Coverage e Payback Limit*.

Figura 15 – Interface Insight 360



Fonte: Insight 360 (2021)

Figura 16 – Comandos de verificação pontual



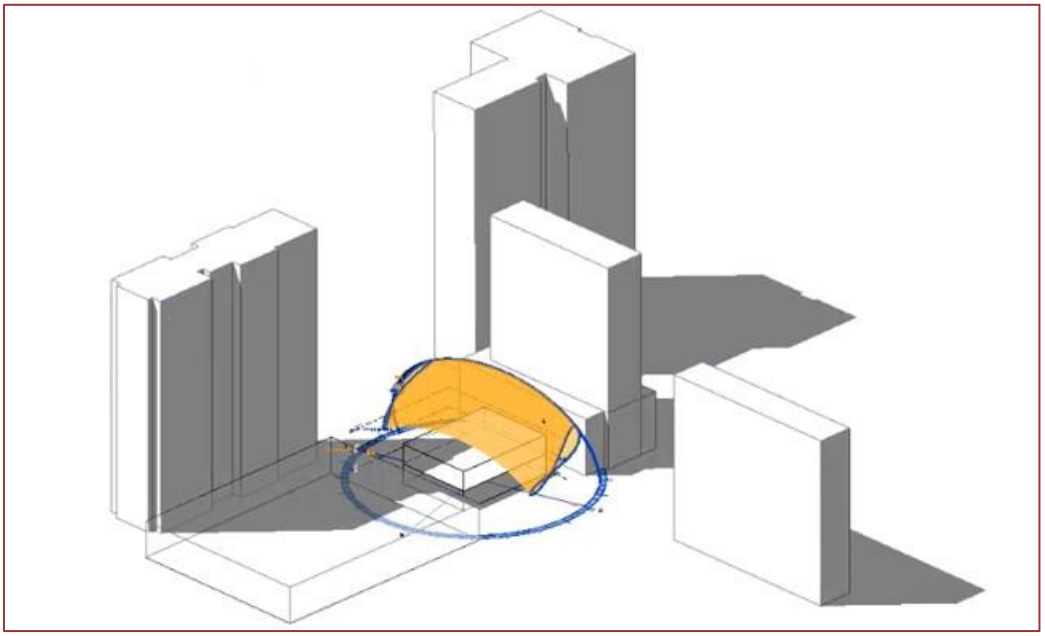
Fonte: Insight 360, 2021 (adaptado)

Baseando-se nos relatórios gerados, as equipes prosseguem para a 4ª etapa com o objetivo de analisar, criticamente, os relatórios e definir a melhor geometria. Nesta direção, a geometria de dois pavimentos foi a solução arquitetônica selecionada. No entanto, havia uma contextualização proposta pelas autoras na 1ª etapa, relacionando o percentual de edificações com elevada projeção vertical que poderia comprometer as análises realizadas.

Neste contexto, as equipes percebem que o resultado coletado não levava em consideração a densidade urbana em que o *site* está inserido e, desta forma o índice de sombreamento poderia alterar as condições naturais que embasavam a carta solar gerada no *software* de modelagem. Uma vez que a radiação solar não incidiria na edificação como idealizada (isoladamente), seria necessário considerar os desvios em função das projeções verticais da vizinhança que funciona como paredões.

Constatada a necessidade de verificação, inicia-se a 5ª etapa do processo de trabalho, utilizando-se novamente do *Earth*, que auxilia com a identificação das cotas das edificações relevantes, que são modeladas juntamente com a massa do modelo selecionado. O sombreamento é gerado no *Revit*, associando-se a funcionalidade de parede, nas novas massas modeladas (Figura 17).

Figura 17 – Sombreamento



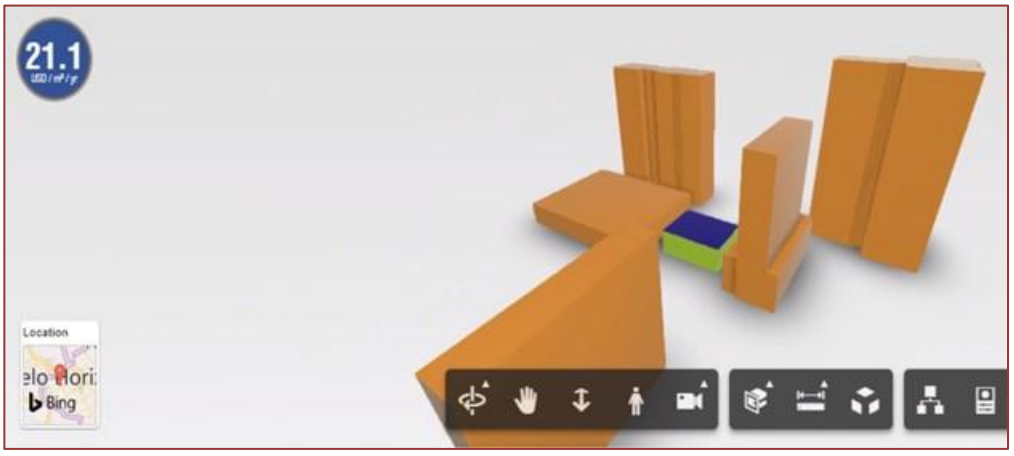
Fonte: Revit, 2021 (adaptado)

5.2. RESULTADOS

Os relatórios gerados pelo *Insight* 360 demonstraram comportamentos térmicos diferenciados para o mesmo modelo selecionado no cenário isolado e no cenário urbano existente. Os resultados evidenciam a importância do estudo do sombreamento que atua de duas formas, em especial.

A primeira, restringindo a circulação de ar, gerando o aquecimento da edificação, comprometendo o conforto térmico e estimulando o uso do condicionamento do ar. A segunda, pelo comprometimento da radiação solar restringindo a iluminação natural e reduzindo o desempenho lumínico dos ambientes e, consequentemente, demandando a iluminação artificial. O sombreamento inadequado pode atuar duplamente negativamente, na performance energética do empreendimento, durante a fase operacional do ciclo de vida (Figura 17).

Figura 17 – Modelo no cenário urbano



Fonte: *Insight* 360, 2021 (adaptado)

Foi possível perceber que o entorno imediato é um condicionante para a análise energética. Tão imprescindível quanto realizar uma vistoria técnica no processo pericial de engenharia, ou selecionar uma amostra representativa do todo no processo de tratamento estatístico. Ou seja, simular energeticamente um modelo, de forma isolada, não garante a confiabilidade dos resultados obtidos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das maiores contribuições do BIM/VDC é a de possibilitar as simulações desde as fases iniciais de projeto, permeando a fundamentação de processos decisórios para as fases seguintes.

Neste capítulo, foi demonstrado a aplicação do sistema BIM de Sustentabilidade e Análise Energética (BIM 6D), no Módulo de do curso de Pós-graduação de BIM. Os resultados demonstraram que as simulações de diferentes Partidos Arquitetônicos, no cenário virtual, permearam decisões consistentes ainda na fase de estudo preliminar possibilitando a escolha da melhor geometria, para a fase de anteprojeto.

Constatou-se que analisar, criticamente, as soluções de projeto na fase de desenvolvimento de concepção, alinhada com os princípios da sustentabilidade, são fundamentais para garantir que as adequações em relação ao conforto térmico e lumínico sejam possibilitadas. A possibilidade de antecipar a performance energética das edificações permite que os modelos sejam adequados e, nesta direção, contemplar melhor nível de desempenho na fase operacional do ciclo de vida.

Entretanto, verificou-se que analisar a melhor solução geométrica de forma isolada não se faz necessário para garantir um controle de qualidade de verificação. O Modelo BIM 6D desafia os profissionais das diversas disciplinas envolvidas a criar soluções, arquitetônica e de engenharias, alinhadas ao meio ambiente e/ou contexto urbano onde o projeto será implementado. Afinal, analisar energeticamente uma solução de projeto idealizado e edificado, somente na fase Pós-ocupação, não agrega grandes contribuições para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. ABDI. Guia 5. Disponível em http:// www.abdi.com.br Acesso em: 27, março de 2021.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965-7: Sistema de Classificação da Informação da construção Parte 7: Informação da construção. Rio de Janeiro, 2015.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: Desempenho de Edificações Habitacionais. Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas Parte 4. Rio de Janeiro, 2015.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. ASBEA. Disponível em: http//www.asbea.gov.br. Acesso em: 27, março de 2021.

[5] AUTODESK. Disponível em: https://www.autodesk.com.br/>. Acesso em: 27, março de 2021.

[6] BIM Dictionary. 2019. https://bimdictionary.com >. Acesso em: 26, janeiro de 2020.

[7] BENTLEY, K. A response from Bentley to Autodesk BIM/REVIT proposal for the future. Bentley, 2003, 10 p.

[8] BIMForum, Level of Development specification - for building information models, http://bimforum.org . Acesso em: 27, março de 2021.

[9] BIM Project Execution Planning Guide. 2010. Pennsylvania University EUA, p. 9 disponível em https://lp.constantcontactpages.com/su/OvqRZ37/bimguide >. Acesso em: 02, junho de 2020.

[10] BuildingSMART. Disponível em https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>. Acesso em: 27, março de 2020.

[11] BRASIL. Decreto n. 10.306, de 02 de abril de 2020. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946 >. Acesso em: 27, março de 2021.

[12] CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Fundamentos BIM – Volumes 1 a 6: Implantação do BIM para construtoras e incorporadoras. Brasília: CBIC, 2016.

[13] EASTMAN, C. et al. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling of Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed. São Paulo, 2014.

[14] FISCHER, M.; KUNZ, J. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies, and Implementation Suggestions. Version 14, January 2012. Disponível em <https://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP097_0.pdf>. Acesso em: 03, novembro de 2017.

[15] JAQUES, P.; SIQUEIRA, S.; PIMENTEL M.; PIMENTEL E.; SANTOS, E.; BITTENCOURT, I; Diretrizes para a escrita dos capítulos dos livros metodologia de pesquisa em informática na educação. Capítulo 1. 2011.

[16] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Disponível em: https://www.who.int/eportuguese/countries/bra/pt/>. Acesso em: 27, março de 2021.

[17] ONE NYC 2050 BUILDING A STRONG AND FAIR CITY. Disponível em: http://onenyc.cityofnewyork.us/ >. Acesso em: 27, março de 2021.

[18] ORGANIZAÇÃO NAÇÕES UNIDAS Disponível em: https://brasil.un.org/>. Acesso em: 27, março de 2021.

[19] RODRÍGUEZ, A.; HEINECK, M. Coordenação de Projetos: Uma Experiência de 10 anos dentro de Empresas Construtoras de Médio Porte. Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído, 2°, Fortaleza, CE. 2001. 12p.

[20] RUSCHEL, R.; GASPAR, J. A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital 22 - 24 Noviembre, 2017 - Concepción, Chile.

[21] RUSCHEL, R.; VALENTE, C.; CACERE, E.; QUEIROZ, S. O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil. REEC Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 7, n. 3, p. 36-54, 2013. Disponível em:<

http://revistas.ufg.emnuvens.com.br/reec/article/view/27487> Acesso em: 2 jun. 2020.

[22] SILVA, E; ARANTES, E. Proposta de verificação automática dos requisitos de projetos pelo uso de ferramentas de análises BIM Aplicadas a norma de desempenho. ENTAC. 2016.

[23] SILVA, F. Verificação automática dos requisitos de projetos da norma de desempenho pela plataforma BIM Solibri Model Checker. 157f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, UFMG. 2018.

[24] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction 18 p. 357-375, 2009.

[25] SOUZA, B.A. et al. Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da Indústria da Construção Civil. Revista de Desenvolvimento Econômico, Salvador, v. 17, n. 31, p.140-150, jan/jun. 2015. Disponível em <http://www.revistas.unifacs.br/index.php/ rde/article/viewFile/3480/2711>. Acesso em: 03, novembro de 2017.

Capítulo 6

Auditoria, normalização e certificação CUB-E

Janaina Madureira Gosling
Ana Flávia Barcelos Chaves
Rafael Ferreira Fernandes
Lucas da Silva Faleiro Andrade
Rafael Aredes Couto
Everaldo Bonaldo

Resumo: O desenvolvimento de um modelo de Auditoria e Certificação para Modelagem da Informação da Construção, do inglês Building Information Modeling (BIM) é tema de maior relevância. De acordo com a legislação vigente, através da Estratégia BIM BR, instituída através do Decreto Nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 e através do Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020, estabelece a utilização da tecnologia na execução de obras e serviços de engenharia, obrigando empreiteiras e construtoras a se adequarem à nova realidade. Os objetivos do presente estudo são a criação do modelo de avaliação e dos parâmetros de auditoria para certificação CUB-e, a fim de que as empresas atestem o nível de BIM em que atuam, normalizando a capacidade técnica das mesmas. Para isso, foram realizadas pesquisas, com o intuito de obter informações sobre o cenário atual da aplicação da ferramenta no mercado de trabalho e a partir disso, desenvolver uma metodologia de avaliação para empresas que utilizam BIM, através de uma auditoria, baseada em um formulário elaborado, que avalia o atendimento de critérios e regras predispostos. Dentre os tipos de auditoria conhecidas, o modelo que se aplica ao CUB-e é a auditoria operacional, pois visa verificar o atendimento de requisitos técnicos, normas e diretrizes operacionais. Com isso, conclui-se que uma ferramenta para certificar empresas em BIM é uma necessidade presente e futura para normalizar o processo de utilização e avaliação BIM. Dessa forma, a certificação CUB-e se apresenta como uma boa ferramenta inicial para desenvolvimento de futuros estudos a aprofundamentos na temática da pesquisa, destacando-se pontos e critérios de avaliação em cada Dimensão BIM.

Palavras-chave: Building Information Modeling. Auditoria. Certificação. Normalização.

1. INTRODUÇÃO

A Modelagem da Informação da Construção, do inglês *Building Information Modeling* (BIM) vem sendo amplamente apresentado nas recentes discussões do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). A tecnologia foi desenvolvida para auxiliar e integrar as diversas áreas que constituem um projeto desde o planejamento, ao identificar possíveis inconsistências, até o fim da vida útil do empreendimento. O objetivo da utilização do BIM é possibilitar que os usuários consigam projetar e documentar todas as fases do processo de forma simples e rápida, e com isso, adquirir economia de tempo e dinheiro, reduzir as incompatibilidades de projetos e aumentar a produtividade.

Diante da atual situação, alguns obstáculos que dificultam a evolução do BIM no mercado brasileiro são: a adequação de equipamentos para o uso dos *softwares*, a capacitação de profissionais, incompatibilidade na extensão dos arquivos para conversão no formato *Industry Foundation Classes* (IFC) e mudanças na cultura de profissionais que atuam no setor da construção civil (FREITAS, 2014).

Outros pontos que tangem a dificuldade da implantação do BIM são os custos elevados para colocar a tecnologia em prática e a carência de informações encontradas no Brasil a seu respeito (CAPIOTTI, 2015).

Considerando o atual cenário de ampla difusão do BIM, surge a necessidade de certificar as empresas que utilizam a tecnologia, utilizando para isto as auditorias dos processos produtivos a partir de coleta de amostras, sendo que os resultados satisfatórios destas atividades levam à concessão da certificação. Além disto, dentre os benefícios das certificações apontados pela ABNT (2014a) estão a promoção do comprometimento da empresa com os recursos auditados, a aplicação como ferramenta gerencial que permite medir a melhoria contínua do desenvolvimento do negócio, a melhora da imagem da organização junto aos seus clientes e a garantia que o produto, serviço ou sistema atende às normatizações exigidas.

O BIM é classificado em dimensões (D's), que centralizam um tipo próprio de informações no modelo. O presente artigo apresenta as dimensões compreendidas entre 1D e 7D (Figura 1). Autores como Eastman *et al.* (2014), Freitas (2014) e Lino *et al.* (2012) classificam, categorizam e mensuram os estágios e dimensões do BIM. As dimensões são caracterizadas por setorizar as diversas camadas e frentes de trabalho, de forma a definir responsáveis e facilitar a futura troca de informações em tempo real entre cada setor.

Figura 1 - Dimensões BIM

Fonte: Feitosa et. al (2020).

2. AUDITORIA, NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO

2.1. PROCESSO DE AUDITORIA

A auditoria é um recurso criado com o objetivo de otimizar processos e resultados para auxiliar os administradores de empresas. Existem várias categorias de auditorias, a saber: auditoria operacional, de tecnologia da informação (TI), fiscal, contábil interna e externa, governamental e *due dilligence.* São incontáveis as colaborações destes trabalhos como, por exemplo, a identificação de fraudes, o monitoramento e a revisão de processos para garantia de eficiência das operações. Além disso, tem como principais contribuições as opiniões e as direções sugestivas de desenvolvimento, trazendo confiabilidade ao processo auditado (MATTOS, 2017).

A auditoria operacional, também chamada de auditoria de desempenho, avalia a performance da operacionalização dos processos para melhorias contínuas através de recomendações sólidas referenciadas por evidências e materiais técnicos, além de verificar o atendimento das normas e diretrizes operacionais e analisar se elas estão de acordo com a atividade. Esse processo é feito através de uma investigação de eventos do passado e do presente, ou seja, fatos que estão acontecendo ou já decorreram. Neste tipo de auditoria, não é obrigatório a formação dos auditores na área, inclusive, pode ter a equipe preenchida por pessoas de diferentes áreas do conhecimento, sendo este último, mais recomendado (MATTOS, 2017).

Por desempenhar um papel crítico em diversos órgãos públicos ou empresas, a auditoria de TI deve ser constante, e por isso, tem a necessidade de seguir um fluxo pré-estipulado. Esse tipo de auditoria tem como objetivos principais avaliar segurança, fraudes, inconsistências, entre outros aspectos relacionados à solução tecnológica empregada. É um tipo de acompanhamento que precisa necessariamente de um auditor com expertise na área de TI.

A auditoria fiscal tem a conotação de verificar, avaliar o planejamento tributário e a eficácia dos métodos de controle adotados para a execução, pagamento e recuperação de impostos, contribuições, taxas e outras obrigações fiscais relacionadas à organização. Pode ser feita por profissionais contábeis especialistas, pela própria empresa ou pelo governo, a fim de arrecadar através de tributos. Ter um planejamento tributário eficaz é

imprescindível para a melhoria financeira e no poder de expansão dos negócios da empresa (CREPALDI; CREPALDI, 2019).

A auditoria contábil avalia as principais áreas financeiras que refletem diretamente nos resultados financeiros da empresa. Porém, uma área financeira deve ser analisada de forma integrada às demais áreas e controles-chave da empresa. Na auditoria interna têm-se liberdade para percorrer diferentes áreas e tem por objetivo verificar se as necessidades de administração da empresa estão sendo atendidas (MATTOS, 2017). Tanto a interna quanto a externa analisam os dados das empresas e emitem um relatório com as informações para recomendar correções e melhorias.

A auditoria governamental tem como objetivo verificar a legalidade e execução conforme critérios preestabelecidos, tendo seu respaldo em normas e leis. Normalmente é dividida em três aspectos principais: auditorias de risco, que controla processos que aconteciam no passado, avalia e trata seus riscos; auditoria de conformidade, que basicamente avalia se um processo está conforme as normas predeterminadas; e auditoria de desempenho. Esse monitoramento é realizado de maneira geral no meio público, através dos órgãos de controle.

Due diligence é um tipo de auditoria que busca reunir informações de uma determinada companhia, como sua área de atuação, as perspectivas futuras e o estado dos ativos passivos. Está diretamente ligada ao processo de cisão, fusão, incorporação e aquisição. Tem como principal objetivo a apuração do real patrimônio contábil da empresa a ser adquirida. Esse tipo de audição, se feita de forma acurada e extensiva, se torna uma peça-chave nesse processo, pois é possível mensurar os riscos efetivos e potenciais (RICKEN, 2008).

2.2. NORMALIZAÇÃO

De acordo com a ABNT (2014b), a normalização é uma atividade de elaboração, difusão e implementação de regras, destinadas à utilização comum e repetitiva, com objetivo de garantir um nível excelente em relação a problemas potenciais ou existentes. É um processo de criação e aplicação de normas para solucionar ou prevenir tais problemas.

As normas são documentos estabelecidos e aprovados por entidades reconhecidas, que fornecem regras, diretrizes e características básicas para atividades e/ou resultados. Essas normas estabelecem expectativas relacionadas a um produto, serviço, processo ou sistema de gestão conforme os requisitos de qualidade, desempenho, segurança, ambientais, procedimentos, formas, entre outros cujo cumprimento não é obrigatório (SEBRAE, 2013).

Atualmente, no Brasil elas não são obrigatórias por lei, ou seja, são de uso voluntário, porém, podem ter força de lei em algumas áreas, como é o caso do Código de Defesa do Consumidor brasileiro e das Normas de Desempenho (ABNT, 2014b).

De maneira geral, as normas contribuem com o comércio exterior para a disseminação de avanços tecnológicos e inovadores, o que torna a fabricação e o desenvolvimentos de insumos mais eficientes, seguros e limpos, protegendo os consumidores e usuários com uma base técnica de saúde, segurança, ambientalista e de conformidade. Isso torna legítimo a globalização dos mercados e a implantação de novas bases para a competitividade entre as pequenas, médias e grandes empresas, haja vista

que a normalização é estruturada em normas brasileiras e internacionais (ABNT, 2014b; SEBRAE, 2013).

2.3. PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO

A ABNT (2014a) caracteriza a certificação como um processo realizado por uma entidade independente, na qual ela avalia se o produto escolhido obedece às normas técnicas. Dentre as formas de avaliação já existentes, têm-se como principais:

- ABNT NBR ISO 9000, gerenciamento e garantia do controle de qualidade;
- ABNT NBR ISO 14000, gestão ambiental;
- ABNT NBR ISO/IEC 25000, qualidade de sistemas e *software;*
- ABNT NBR ISO/IEC 27000, tecnologia da informação;
- ABNT NBR ISO 50000, gestão de energia;
- Selo *LEED,* aspectos sustentáveis.

É de suma importância avaliar se o produto ou serviço se enquadra em alguma norma técnica que aponte os requisitos mínimos para assegurar a compatibilidade e iniciar o processo de certificação. É imprescindível atender às exigências da norma de orientação, bem como possuir a documentação necessária para comprovar que a instituição controla todas as informações relacionadas ao objeto da certificação (ABNT, 2014a).

De acordo com a ABNT (2014a), dentre os benefícios da certificação, têm-se:

- Possibilitar que a qualidade seja de responsabilidade do produtor;
- Permitir que o desenvolvimento do negócio tenha uma melhora constante;
- Garantir que o serviço seja eficiente e eficaz;
- Organizar e aprimorar a apresentação de seus produtos a seus consumidores;
- Garantir que os requisitos da norma do insumo, sistema ou serviço sejam obedecidos.

2.3.1. CERTIFICAÇÃO ISO

A *International Organization for Standardization* (ISO) é uma organização não governamental independente. O órgão nacional que representa o Brasil perante a ISO é a ABNT. O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) é uma instituição de confiança do Brasil, ligado à ABNT (ISO, 2019).

As normas ISO têm como propósito criar uma padronização global de qualidade para produtos e serviços, acrescida da necessidade de padronizar o funcionamento administrativo da instituição. O grupo de normas forma um sistema da gestão da

qualidade que se aplica a qualquer empresa, independentemente do tamanho ou se trata de uma empresa pública ou privada (MARIANI, 2006).

A ISO desenvolve um padrão que fornece especificações e requisitos para serem utilizados coerentemente, a fim de garantir a qualidade dos insumos e serviços prestados em suas devidas aplicações (ISO, 2019).

2.3.2. SELO LEED

Atualmente no Brasil, uma das principais certificações que constata o grau de comprometimento das edificações com o meio ambiente e a responsabilidade social é o selo *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). O sistema foi criado internacionalmente para certificar e orientar ambientalmente as edificações, através do incentivo de transformação dos projetos, obras e operação dos edifícios. O LEED possui quatro tipologias definidas pela GBC BRASIL (2019). Elas são definidas de acordo com as necessidades de cada empreendimento.

Cada uma das áreas tem pré-requisitos que caracterizam ações obrigatórias em todos os empreendimentos e requerem a certificação e créditos, que são recomendações do LEED, com foco nas performances de desempenho. À medida que o empreendimento cumpre as sugestões, recebe uma pontuação. Através da pontuação acumulada, determina-se o nível do selo alcançado (Figura 2).

Figura 2 - Níveis do Selo LEED

Fonte: GBC BRASIL (2019).

2.3.3. PROCESSO AQUA-HQE

Atualmente no Brasil, o Processo Aqua-HQE (Figura 3) é uma certificação internacional de construção sustentável que avalia o comprometimento das edificações com o meio ambiente e a responsabilidade social. Esse modelo foi desenvolvido baseado na certificação francesa *Démarche Haute Qualité Environnementale* (HQE), que é aplicado no Brasil pela Fundação Vanzolini (NASCIMENTO; NANYA, 2017).

Para o desenvolvimento dos referenciais técnicos do processo, foram considerados diversos fatores, como a cultura, o clima, as normas técnicas e os regulamentos brasileiros, sem deixar de buscar uma melhoria contínua nos desempenhos (VANZOLINI, 2015).

Dos benefícios da certificação, têm-se para o empreendedor a comprovação de alta qualidade ambiental das construções, bem como aumentar a velocidade de vendas ou de locação, além de manter o valor do seu patrimônio ao longo do tempo. Para o usuário

destacam-se as vantagens da economia de consumo de energia elétrica e água, melhores condições de conforto, saúde e maior valor patrimonial ao longo do tempo (VANZOLINI, 2015).

Figura 3 - Logomarca do Processo AQUA-HQE

Fonte: Vanzolini (2015).

3. CERTIFICAÇÃO CUB-E

O modelo de certificação BIM proposto em Feitosa *et al.* (2020), tem como objetivo atestar as construtoras e projetistas que atuam nas diferentes dimensões do BIM e áreas de aplicações na AECO, como por exemplo, elaboração e/ou execução de projetos. A partir disso, foi elaborada uma *checklist*, para que através da análise dos parâmetros propostos em cada dimensão, seja possível determinar o grau de utilização e eficiência do BIM, alcançado pelos integrantes da AECO.

Em prol disso, estabeleceu-se cinco níveis distintos de certificação, sendo eles: Padrão, Prata, Ouro, Platina e Diamante, com propósito de diferenciar o grau de utilização do BIM de acordo com a utilização das dimensões. A avaliação é feita com base nos ramos de atuação - elaboração e execução de projetos arquitetônicos, hidráulicos, elétricos, de climatização, dentre outros - e até quais dimensões são capazes de atingir, de acordo com a demanda e capacidade técnica.

O nome foi definido como Certificado de Utilização BIM Digital (CUB-*e*). Além de serem as iniciais do nome (o termo "*e*" faz menção ao termo "digital") e referência à palavra da língua inglesa *cube,* que significa cubo em português. O cubo é um sólido limitado por polígonos, portanto, o nome faz alusão às três dimensões do plano cartesiano, que são características de projetos em BIM.

Ao se referir ao termo "*e"* do nome CUB-*e*, foi atribuído a ele, as palavras da língua inglesa: *everywhere* "em toda a parte"*, everything* "para tudo" *e everyone* "para todos", outrossim digital. Essa relação se dá ao fato de o BIM possibilitar o acesso à projetos e seus derivados em qualquer lugar, em virtude do armazenamento na nuvem, além de ter um potencial de aplicação em diversas áreas.

3.1. AUDITORIA CUB-E

Antes do início de um processo de auditoria, faz-se necessário o planejamento da mesma e este começa com a elaboração de um plano de trabalho, a fim de orientar sua execução. Esse plano deverá apresentar todas as atividades como o escopo, com processos ou produtos que serão auditados. É importante também listar as pessoas que serão entrevistadas e os pontos principais a serem observados. Para isto, cria-se uma *checklist* de verificação, com a finalidade de orientar o auditor de modo a não esquecer nenhum detalhe a ser avaliado, assim como para registrar as constatações e observações (BECHER, 2017).

Portanto, para prosseguir com a certificação CUB-*e*, elaborou-se um formulário para avaliar os constituintes da AECO. A análise da *checklist* tem como base os modelos de avaliação de qualidade de software das ISO 9126 e ISO 14598, que são mapeados em métricas entre 0 e 1, em que 0 é o pior resultado e 1 o melhor. A partir disso define-se pesos de acordo com a importância do item. Com isso, calcula-se a média ponderada com objetivo de atingir uma pontuação acima de 75% para que seja aceito (ALMEIDA, 2011).

A primeira página da *checklist* (Figura 4) coleta os dados da empresa, além dos dados do funcionário responsável por acompanhar o avaliador e dos colaboradores auditados, além dos produtos da empresa, sendo estes os serviços prestados. Nas páginas seguintes, cada dimensão BIM é avaliada de maneira isolada e dividida em itens relacionados à mesma. Esses parâmetros são avaliados em cada serviço prestado e atribuídos notas separadas para cada área de atuação. Para isso, inicia-se a análise das dimensões BIM possíveis de serem executadas, de acordo com os serviços oferecidos pela empresa. Em cada uma destas avaliações, espera-se que o auditor registre todas as considerações e observações, incluindo as não conformidades, garantindo que a coleta de informações seja o suficiente para avaliar a empresa dentro dos requisitos pré-definidos.

A primeira dimensão (Quadro 1) avalia o pré-projeto, a análise de viabilidade - técnica, financeira e jurídica - análise de solo, georreferenciamento e se a documentação foi executada de forma adequada. Para que a obra seja iniciada, é essencial que a documentação esteja em conformidade com as leis municipais, estaduais e federais, a fim de evitar possíveis contratempos que podem fomentar atrasos no cronograma de execução. Portanto, este item tem caráter obrigatório, junto a outros, para garantir o certificado proposto.

Figura 4 - Página inicial da checklist

FORMULÁRIO OFICIAL PARA SELO CUB-e

Avaliador responsável:		
Data:	XX/XX/XXXX	P: 1

Dados da empresa:

Razão social:	Empresa A
Nome fantasia:	Empresa A Fantasia
CNPJ:	XX.XXX.XXX/YYYY-ZZ
Responsável pelo questionário:	Nome Sobrenome
Serviços prestados:	Projeto X
	Projeto Y
Quantidade de funcionários:	XX
Endereço:	Endereço completo
Telefone de contato:	Telefone
E-mail para contato:	Email@gmail.com
Site da empresa:	www.selocube.com.br
Tipo de empresa:	Projetista

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Quadro 1- Análise da 1ª dimensão

1ª Dimensão:		
	P.X	P.Y
Análise prévia do solo com ensaios SPT		
Pré-projeto		
Georreferenciamento		
Viabilidade do Empreendimento		
Documentação provisionada na prefeitura		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Doravante ao 2D, todas as dimensões apuram características físicas e de processamento dos equipamentos. A avaliação é fundamentada na capacidade dos *hardwares* suportarem os *softwares* de modelagem, no fato das licenças serem devidamente adquiridas dos proprietários, a interoperabilidade entre os *softwares*, a qualificação das equipes responsáveis pelos projetos e atestar o atendimento às garantias legais do empreendimento, conforme as normas.

Quadro 2 - Análise da 2ª e 3ª dimensões

2ª Dimensão:		
	P.X	P.Y
Hardwares suportam os softwares		
Licença dos Softwares		
Projetos feitos		
Qualificação da equipe responsável pelos projetos		
Compatibilização de projetos		
Executabilidade dos Projetos		
Detalhamento dos Projetos		
Coordenador de projetos		
Garantia legais do empreendimento		
As Built		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Quadro 2 - Análise da 2ª e 3ª dimensões (continuação)

3ª Dimensão		
	P.X	P.Y
Hardwares suportam os softwares		
Licença dos Softwares		
Projetos feitos		
Qualificação da equipe responsável pelos projetos		
Executabilidade dos Projetos		
Detalhamento dos Projetos		
Parametrização dos elementos		
Compatibilização de projetos		
Coordenador de projetos		
Garantia legais do empreendimento		
As Built		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Nas dimensões 2 e 3 (Quadro 2) atenta-se junto ao detalhamento e executabilidade, isto é, se os projetos foram modelados de forma consistente, praticável, com detalhamentos necessários e de forma a não causar dubiedades. Ademais, a maneira que a equipe é supervisionada, a análise dos projetos já finalizados, a parametrização dos elementos em uma análise detalhada de cada item especificado, outrossim a compatibilidade entre eles, a composição do *As Built* e informações descritivas sobre os materiais, equipamentos inseridos no projeto, seus respectivos prazos de garantia e procedimentos de execução, que comprovam a durabilidade da construção.

No que diz respeito à 4ª dimensão (Quadro 3), deve-se analisar os cronogramas executivos, tanto em escala geral - englobando os sistemas construtivos ordenados em etapas de execução e garantindo a discriminação de todas as atividades envolvidas, controle da quantidade de mão de obra utilizada, materiais a serem instalados, chegada e saída de insumos - quanto em um panorama mais específico - se os fatores de cada tarefa são plausíveis e tecnicamente embasados - a fim de evitar exageros e futuros gastos indevidos ocasionados pelo despreparo da equipe. Além disso, averiguar as mudanças e controle do cronograma, se o desempenho físico da obra é acompanhado periodicamente,

se os prazos estipulados são cumpridos, as justificativas para eventuais atrasos e a existência de planos de ação para supri-los, além de avaliar o profissional que conduz estas funções e suas capacidades técnicas.

Quadro 3 - Análise da 4ª dimensão

4ª Dimensão:		
	P.X	P.Y
Cronograma executivo - macro		
Cronograma executivo - micro		
Hardwares suportam os softwares		
Comunicação dos softwares		
Licença dos Softwares		
Modificações do Cronograma		
Qualificação da equipe responsável pelo cronograma		
Avaliação do coordenador		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Na 5ª dimensão (Quadro 4), é realizada uma avaliação financeira no que se refere ao aspecto macro e micro do empreendimento em termos de orçamentação. No diagnóstico da análise macro, é avaliado se todos os serviços a serem realizados constam no cronograma financeiro e se estão devidamente detalhados, contemplando despesas em relação a mão de obra, equipamentos, insumos, entre outros. Avalia ainda se no momento da elaboração houve a compatibilização com setores de suprimentos, quanto à análise e escolha de propostas mais favoráveis, e contabilidade, quanto ao alinhamento de gastos e custos possíveis e previstos.

Na análise micro, é verificado os valores orçados de cada serviço e insumos em relação aos preços de mercado, a fim de identificar se houve acréscimos de valores em itens do orçamento de forma equivocada e se os quantitativos estão assertivos em relação ao projetado e ao planejado.

Para a 6ª dimensão (Quadro 5), verifica-se a questão de perdas de materiais, produção e manuseio de rejeitos de forma detalhada. Averiguam a relevância dada a estas perdas, se as mesmas contam como um dos fatores importantes e decisivos na escolha do terreno, a definição de equipamentos, componentes e elementos construtivos.

Observa se a classificação dos resíduos está adequada, o planejamento para separação dos mesmos e o bom funcionamento da logística *in loco,* bem como a destinação posterior para os locais adequados; apuram as políticas sustentáveis de insumos aplicadas tanto ao projeto, quanto ao processo de construção, como por exemplo a logística reversa, os três "R's" (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) da sustentabilidade e a implantação, ou não, de ações que promovam a eficiência energética e o reaproveitamento de água. Ao avaliar essas medidas aplicadas a colaboradores e moradores locais, o intuito é de mitigar poluição no ar, sonoras e no meio ambiente, por exemplo, prezando pelo bem-estar dos mesmos.

Quadro 4 - Análise da 5ª dimensão

5ª Dimensão:		
	P.X	P.Y
Avaliação Financeira - macro		
Avaliação Financeira - micro		
Hardwares suportam os softwares		
Comunicação dos softwares		
Licença dos Softwares		
Modificações do Orçamento		
Qualificação da equipe responsável pelo cronograma		
Avaliação dos responsáveis		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Quadro 5 - Análise da 6ª dimensão

6ª Dimensão:		
	P.X	P.Y
Perdas e Rejeitos		
Classificação dos resíduos		
Destinação dos Resíduos		
Políticas sustentáveis - insumos		
Políticas sustentáveis - Colaboradores		
Políticas sustentáveis - Cliente, Sociedade, Ambiente		
Certificações		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Quadro 6 - Análise da 7ª dimensão

7ª Dimensão:		
	P.X	P.Y
Ciclo de vida - macro		
Ciclo de vida - micro		
Documentação		
Laudos		
Hardwares suportam os softwares		
Comunicação dos softwares		
Licença dos Softwares		
Modificações e acompanhamento do Ciclo de vida		
Qualificação da equipe responsável pelo cronograma		
Avaliação dos responsáveis		

Fonte: Feitosa et al. (2020).

Na 7ª dimensão (Quadro 6), examina-se predominantemente o ciclo de vida da edificação, sendo essa também em análises macro e micro. A primeira no sentido de indagar quanto à correlação do projeto e ciclo de vida, se existe tal preocupação e se o mesmo tem sido analisado e considerado desde a pré-obra, englobando todas as etapas de construção. A segunda, no detalhamento deste ciclo em relação a cada sistema, se manutenções e eventuais substituições já tem prazos e procedimentos previstos, além dos responsáveis por estas atividades.

Além disso, verifica as documentações que formalizam e apontam a responsabilidade pelo planejamento e execução, a quem o cliente deve recorrer em

eventuais adversidades, laudos técnicos que autenticam as características e desempenho dos elementos aplicados. Ademais, avalia a comunicabilidade entre as dimensões anteriores, como o processo acontece e se este é satisfatoriamente integrado e otimizado.

Com objetivo de definir a escolha do selo da empresa avaliada, inicia-se o processo de verificação do formulário, realizado em etapas. Primeiro, compila-se todas as informações do formulário padrão aplicado na auditoria, sendo este a *checklist*. Após isso, faz-se a média ponderada proposta na terceira dimensão, com base nos pesos inicialmente atribuídos a ela. Caso a média atinja uma nota inferior a 75%, todo o processo de verificação é cancelado e a empresa não recebe nenhum selo, pois não atingiu os requisitos mínimos.

Caso seja atingido, desencadeia-se a verificação do formulário de forma crescente. Faz a média ponderada na primeira e segunda dimensão de forma individual, armazenando a média de cada uma. Caso o avaliado não se proponha a realizar trabalhos da primeira dimensão, as respostas ficam em branco e não são consideradas no processo de verificação.

Após armazenar as médias ponderadas até o 3D, propõe-se inicialmente fazer uma média aritmética entre esses valores. Ao atingir nota acima dos 75% sugeridos na média aritmética, a empresa recebe, no mínimo, o selo Padrão. Para prosseguir, faz-se o mesmo processo recomendado inicialmente. Avalia-se o 4D, através da média ponderada e ao atingir mais de 75% a empresa recebe o selo Prata. O processo se repete para todas as dimensões seguintes, sendo o 5D o selo Ouro, o 6D o selo Platina e o 7D o selo Diamante.

Caso a empresa não atinja mais de 75% em cada dimensão, ou obtenha uma nota 0 em algum item julgado inicialmente como obrigatório, o processo de verificação é finalizado e o selo avalia até a etapa anterior a finalização do processo.

A empresa só é avaliada no 1D se ela se propuser a fazê-lo, como é o caso de grandes construtoras. Esta dimensão não é obrigatória, pois há casos em que os projetistas são terceirizados e não têm necessidade de tal análise.

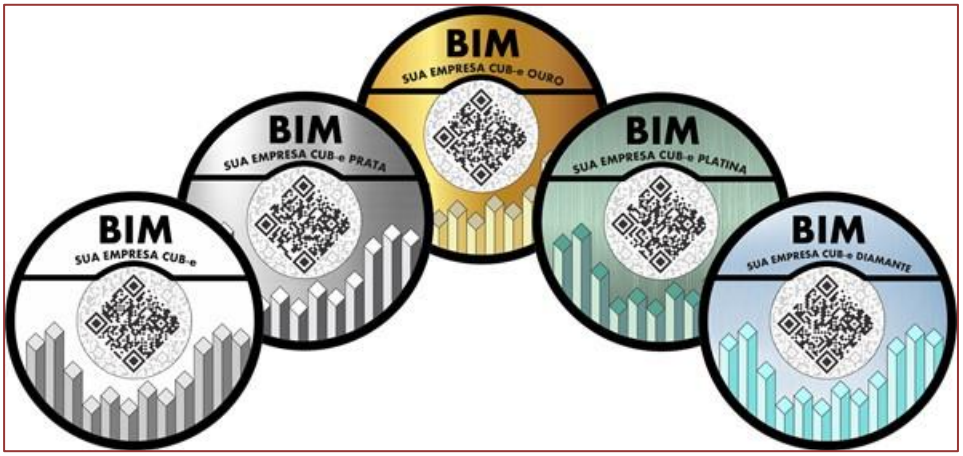
Durante o processo de auditoria, o responsável pela avaliação da empresa é encarregado de conceder notas de zero a dez para cada item da *checklist*. Portanto, é necessário que o mesmo tenha total conhecimento sobre as atividades e processos a serem avaliados.

Deve-se levar em consideração o fato de que os elementos considerados obrigatórios devem sempre ser preenchidos com dez ou zero. Caso a nota seja igual a zero, a análise é imediatamente interrompida e a empresa não será certificada. Após a avaliação *in loco*, a equipe de auditores se reúne para rever todos os apontamentos e avaliações realizadas, verificando principalmente as áreas problemáticas, e além disto, apuram-se as notas obtidas e calculam-se as categorias alcançadas. Todas estas informações devem compor um relatório de resultados da auditoria, além das recomendações para que a empresa possa corrigir, aprimorar os processos e implementar ações de melhoria, a fim de conseguir algum nível de certificação, ou de avançar para um superior.

Para exemplificar, uma instituição que atinja desempenhos satisfatórios em todas as dimensões até a quinta, não consiga desempenho positivo na sexta e volte a repetir as notas altas no 7D, ganhará apenas o certificado Ouro, pois uma avaliação ruim em uma dimensão anterior anula as avaliações seguintes. Portanto, uma empresa só receberá o certificado Diamante, se obtiver performance satisfatória em todas as dimensões.

Foram criadas cinco logomarcas que representam os cinco níveis a serem atingidos (Figura 5), sendo o certificado Padrão, Prata, Ouro, Platina e Diamante. Na imagem, o termo ‘‘sua empresa’’ será substituído pelo nome da empresa avaliada.

Figura 5 - Certificados padrão CUB-e



Fonte: Feitosa *et al.* (2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do grande crescimento da utilização do BIM em âmbito global e com o decreto que torna o uso do BIM obrigatório para projetos de obras públicas a partir de 2021, o governo brasileiro busca o desenvolvimento da construção civil e adequação aos padrões dos países mais desenvolvidos nessa questão.

O Decreto Presidencial n. 10306, de 02 de abril de 2020, também obrigará as empresas a executarem obras públicas em BIM (BRASIL, 2020). Este decreto estabelece que os profissionais deverão estar habilitados e comprovar experiência, conhecimento ou formação em BIM, sendo de total responsabilidade dos mesmos sua respectiva capacitação. Sendo assim, este fato faz com que as empresas busquem por maneiras de comprovar tal capacidade, através de certificação ou atestado de capacidade técnica, validando a execução dos serviços em BIM de maneira adequada.

Atualmente, a forma mais eficiente para comprovar a qualificação técnica é mediante uma auditoria. Dessa forma, as empresas e projetistas que cumprem com todas as suas obrigações e mantém a qualidade dos serviços prestados podem solicitar a avaliação, a fim de obter a certificação. Um atestado de capacidade técnica é referente apenas a um serviço, portanto, seriam necessárias várias declarações para comprovar a competência de uma instituição em relação à prática do BIM, como por exemplo, em processos licitatórios. Já o procedimento de certificação leva em consideração a análise de todos os serviços já prestados, a capacitação de toda a equipe envolvida e até mesmo a qualidade dos *hardwares* e *softwares* disponíveis para o processo de execução das demandas, sendo um recurso mais sólido e duradouro.

Diversas vantagens do processo de certificação foram notadas, uma vez que se pode certificar apenas um serviço específico, ou todos eles em conjunto e ainda efetuar a separação da certificação em diversos níveis, visto que o BIM possui várias dimensões e

etapas a serem cumpridas. Isso é de grande valia na medida que grande parte dos potenciais avaliados podem realizar serviços que abrangem somente uma dimensão do BIM pois tem dificuldades de expandir seus serviços para atender requisitos de outras dimensões.

Uma importante etapa foi a criação de um modelo de avaliação para certificar os integrantes da AECO, a fim de determinar o nível de utilização do BIM e o grau de eficiência que os avaliados conseguem atingir. Para o desenvolvimento desse modelo, foi importante o estudo realizado sobre as certificações já existentes e consolidadas na sociedade, bem como os certificados emitidos pelo INMETRO, das certificações ISO e pela GBC Brasil, do selo LEED. Dessa forma, foi possível o entendimento de como é realizado o processo de certificação de empresas no mercado e de que maneira poderia executar uma avaliação para certificar as instituições que utilizam o BIM.

A partir da pesquisa realizada e demais estudos e conhecimentos sobre BIM, foi possível constatar as vantagens e desvantagens a respeito da sua aplicação, além de assimilar as características de cada nível. Dessa forma, idealizando um modelo padrão de trabalho, foi executada uma *checklist*, pela qual é possível definir quais dimensões as empresas a serem avaliadas conseguem atingir e se o fazem de maneira correta e eficiente.

A partir disso, é possível afirmar que o selo CUB-*e* é dado às empresas de acordo com os requisitos atingidos em cada dimensão com êxito. Portanto, ao ser avaliada e ao alcançar os requisitos necessários, a instituição pode receber desde o selo Padrão até o selo Diamante, conforme o grau de utilização. A criação dos diferentes níveis de certificação é de suma importância, haja vista que é possível distinguir as empresas no que tange ao nível de utilização do BIM. Um aspecto importante a salientar refere-se ao fato de que, através da certificação CUB-*e* obtida, a empresa adquire confiabilidade diante do potencial cliente que porventura venha a contratar suas funções, haja vista que o processo de certificação é baseado em parâmetros técnicos.

Por fim, com a obrigatoriedade da utilização do BIM em obras públicas brasileiras, a ferramenta de avaliação para comprovar a capacidade técnica de empresas é tema de relevância.

O processo de certificação é fundamental para contribuir com a implantação da tecnologia no país, além de difundir o que é proposto pelo BIM. Além disso, incentivar a implementação nas empresas, estimular que as mesmas alcancem níveis superiores até atingir o nível Diamante. Também, a certificação contribui para o crescimento da sustentabilidade no âmbito da construção civil, visto que para atingir melhores classificações, a 6ª dimensão deve ser satisfatoriamente aplicada.

O CUB-*e* foi criado a fim de atender a uma possível demanda para atestar empresas de maneira eficiente. Sendo assim, a criação do modelo de avaliação para certificação contribui para a disseminação do BIM no Brasil, em sintonia com a Estratégia BIM BR dos decretos do Governo Federal, devido ao fato das empresas terem maior visibilidade e valor no mercado ao adquirir a certificação. A partir do estudo, observa-se que a auditoria adequada para o CUB-*e* é a auditoria operacional, pois é uma avaliação de desempenho, que objetiva verificar a operacionalização de processos e o atendimento de requisitos técnicos, normas e diretrizes para evidenciar melhorias e garantir os serviços prestados. Sendo assim, após a avaliação baseada na *checklist,* é possível determinar o nível atingido para a certificação CUB-*e*.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, M. A. F. Avaliação de sistemas hipermídia adaptativos educacionais: uma aplicação em engenharia biomédica. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2011.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014a. O que é Certificação e como obtê-la? [S. l.], 2014. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/certificacao/o-que-e>. Acesso em: 24 mar. 2021.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014b. Normalização [S. l.], 2014b. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>. Acesso em: 20 mar. 2021.

[4] BECHER, M. As 4 etapas essenciais em auditorias de qualidade [S. l.], 2017. Disponível em: <https://blog.softexpert.com/4-etapas-essenciais-auditorias-de-qualidade/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

[5] BRASIL, Presidência da República, Secretaria Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto Nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. [Brasília], 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm>. Acesso em: 31 mar. 2021.

[6] BRASIL, Presidência da República, Secretaria Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020. [Brasília], 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10306.htm>. Acesso em: 31 mar. 2021.

[7] CAPIOTTI, L. J. Vantagem do uso da modelagem BIM 4D e 5D no planejamento e controle da produção aplicado ao setor da construção civil. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

[8] CREPALDI, S.; CREPALDI, G. S. Auditoria Fiscal e Tributária: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2019. ISBN 9788553131914.

[9] EASTMAN, C.; SACKS, R.; TEICHOLZ, P.; LISTON, K. Manual de Bim: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1st ed. Editora Bookman, Porto Alegre: 2014.

[10] FEITOSA, A. B.; CHAVES, A. F. B.; GOSLING; J. M.; ANDRADE; L. S. F.; AMORIM, M. H. S.; FERNANDES, R. F. Proposta de modelo de avaliação para Building Information Modeling (BIM): Certificação CUB-e. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Instituto Politécnico da PUC Minas (IPUC), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Belo Horizonte, 2020.

[11] FREITAS, J. G. A. Metodologia BIM - uma nova abordagem, uma nova esperança. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2014.

[12] GBC BRASIL - Conheça a Certificação LEED. Barueri, [2019?] - Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/?gclid=CjwKCAiAqqTuBRBAEiwA7B66he5acvxozCI_D7oFcFtj8WEIyj-xRvFgd2pH0rRQknKjXn3KWi2TcxoCfpoQAvD_BwE>. Acesso em: 25 mar. 2021.

[13] ISO. All About ISO. [S. l.], [2019?]. Disponível em: <https://www.iso.org/about-us.html>. Acesso em: 31 mar. 2021.

[14] LINO, J. C.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. In: Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

[15] MARIANI, É. J. As normas ISO. Revista Científica Eletrônica de Administração, [S. l.], 6, n.10, p.1-6, 2006. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/W1EsmW9A6Hxjf4R_2013-4-29-15-27-14.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

[16] MATTOS, J. G. Auditoria [recurso eletrônico]. Porto Alegre: SAGAH, 2017. ISBN: 978-85-9502-011-5.

[17] NASCIMENTO, R. M.; NANYA, L. M. Certificação LEED para projeto de arquitetura. v.1, n.1, Revista Científica União das Faculdades dos Grandes Lagos. UNILAGO, [São José do Rio Preto], 2017. Disponível em: <http://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/27>. Acesso em: 31 mar.

2021.

[18] RICKEN, S. V. Due diligence: Um instrumento de apoio nos processos de cisão, fusão, incorporação e aquisição de empresas. 2008. 88 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/126143/Contabeis292209.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 25 mar. 2021.

[19] SEBRAE, 2013. O que é normalização? [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/artigoshome/o-que-e-normalizacao,82bc438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 19 mar. 2021.

[20] VANZOLINI. Certificação AQUA-HQE - Processo Aqua-HQE. [S. l.]. 2015. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

Capítulo 7

BIM e o mundo virtual: a real da construção civil

Maria Aparecida Fernandes Almeida
Everaldo Bonaldo

Resumo: A Modelagem da Informação da Construção – Building Information Modeling (BIM) incorpora metodologias, técnicas e ferramentas para desenvolvimento de produtos da construção civil. O BIM causou uma verdadeira revolução no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) pela incorporação de tecnologias da Indústria 4.0, dentre elas as novas formas de Realidade Virtual (RV). Além disso, a combinação da RV com Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) está mudando fundamentalmente a maneira de trabalho da AECO. A visualização imersiva da RV fornece aos usuários uma percepção realista do projeto às operações, isto é, de todo ciclo de vida das edificações. A simulação da experiência dos usuários, através de movimentos e interação com um mundo virtual como se fosse real, permite a aplicação da RV nas áreas de projetos, mapeamento de processos, gestão de facilidades, manutenção, seleção de materiais, simulações de tempo, custo e análises de eficiência, treinamento, avaliação de riscos, dentre outras. Este capítulo tem por objetivo oferecer uma visão introdutória sobre os conceitos de RV e algumas aplicações na construção civil que se multiplicam a cada dia.

Palavras-chave: Building Information Modeling, Construção Civil, Realidade Virtual, Indústria 4.0.

1. INTRODUÇÃO

O setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) está passando por uma rápida revolução digital. Um dos fenômenos representativos é o surgimento de novas tecnologias de visualização para comunicação intuitiva de informações complexas de engenharia, incluindo as da *Building Information Modeling* (BIM), Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Mista (RM).

Muitos estudos na indústria de AECO já demonstraram os potenciais das tecnologias RV e RA para comunicações de projeto (WALY; THABET, 2002, WANG; DUNSTON, 2008), otimização do uso de energia (CARRASCO; CHEN, 2021), segurança de construção (MOTAMEDI; HAMMAD; ASEN, 2014), treinamento (LI *et al*., 2003), educação (GUREVICH; SACKS, 2013), gestão de facilidades (BARRETT; FINCH, 2014), (WIJEKOON; 2020) e tarefas do trabalhador da construção (SHI; DU; WORTHY, 2020).

A Construção Civil já entrou na era da denominada Indústria 4.0. Este artigo mostra algumas aplicações da Realidade Virtual e suas extensões na Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* – BIM).

O trabalho está dividido como se segue. Na seção 1 é apresentada a introdução do trabalho. A seção 2 apresenta os pilares da Indústria 4.0. Na seção 3 são apresentados os princípios da Realidade Estendida abordando-se os conceitos de Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Mista (RM). Na seção 4 são apresentadas algumas aplicações da RV na Indústria da Construção Civil. A seção 5 finaliza este artigo com as considerações finais sobre o assunto.

2. INDÚSTRIA 4.0

O termo “Indústria 4.0” é usado para designar a próxima revolução industrial. O termo de fato se tornou publicamente conhecido somente em 2011, quando uma iniciativa chamada “Industrie 4.0” – uma associação de representantes de negócios, políticos e acadêmicos – promoveu a ideia em uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã. (TROPIA; SILVA; DIAS, 2017).

Segundo Tropia, Silva e Dias (2017) “A Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial foi precedida por outras três revoluções industriais na história, cada uma com o seu respectivo impacto na dinâmica da economia mundial, na relação laboral e na aplicação de tecnologia para a fabricação de novos produtos. A primeira revolução industrial ocorreu na segunda metade do século 18, sendo intensificada no século 19 e surgiu com a introdução de facilidades mecânicas na produção. A partir de 1870, a adoção da eletricidade e da divisão do trabalho na indústria deu início à segunda revolução. A terceira revolução, também chamada de “revolução digital”, teve seu início em 1970, quando se desenvolveram avançadas técnicas de eletrônica e de tecnologia da informação para automação dos processos de produção. Dos anos 90 em diante, houve um incremento de princípios mecânicos, elétricos e eletrônicos para inteligência artificial no contexto de fábrica, dando origem à quarta revolução industrial”.

A introdução de iniciativas como a Indústria 4.0 e a Internet Industrial das Coisas (IIOT) estão acelerando as plataformas de simulação em 3D e em Realidade Virtual (RV) no desenvolvimento de uma nova geração de linhas de produção industrial, ligadas à Internet, inerentes à Fábrica Inteligente (TURNER *et al.*, 2016) permitindo a manipulação

virtual de cenários de manufatura. Uma revisão da literatura permite sumarizar os nove pilares da Indústria 4.0 como se segue:

1. *Robótica*: é um ramo da tecnologia que engloba computadores, robôs e computação, que trata de sistemas compostos por partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados, tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos eletrônicos.

2. *Integração vertical e horizontal dos sistemas*: pretende-se que as empresas, departamentos, funções e capacidades sejam mais coesas, interempresariais e mantenham uma integração de dados em rede que aumente significativamente a cadeia de valor. Para Alves e Valino (2016) a Indústria 4.0 digitaliza e integra processos verticalmente em toda a organização, desde o desenvolvimento e a compra de produtos, até fabricação, logística e serviços.

3. *Internet da Coisas* (IoT): a digitalização dos processos e toda a cadeia produtiva é a base da Indústria 4.0. Com a camadas de IoT é possível planejar, controlar e rastrear a produção, tanto por simulação digital, quanto por virtualização, reduzindo o tempo para tomada de decisões e os custos de produção. (VENTURELLI, 2018).

4. *Cibersegurança*: a implantação de terminais inteligentes no chão de fábrica é uma tendência da Indústria 4.0, como por exemplo, através do conceito da Manufatura sem Papel, uma solução para as pilhas de papel com ordens de produção e desenhos de projetos. Com o aumento da conectividade e o uso de protocolos de comunicação padrão que vêm com a Indústria 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais críticos e linhas de fabricação de ameaças de segurança cibernética aumenta dramaticamente. Como resultado, comunicações seguras e confiáveis, bem como gerenciamento sofisticado de identidade e acesso de máquinas e usuários são essenciais. (RUBMANN *et al*., 2015).

5. *Armazenamento em Nuvem*: para Rubmann *et al*. (2015) muitas empresas já estão usando software baseados em nuvem para alguns aplicativos corporativos e de análise, mas, com a Indústria 4.0, mais empreendimentos (tais como na AECO) relacionados à produção exigirão o aumento do compartilhamento de dados entre o local e os limites da empresa. Os dados e a funcionalidade das máquinas serão cada vez mais implementados na nuvem, permitindo mais serviços orientados a dados para sistemas de produção. Até mesmo sistemas que monitoram e controlam processos podem se tornar baseados em nuvem.

6. *Manufatura aditiva*: na manufatura aditiva, a impressão 3D é utilizada para prototipar e produzir os componentes individuais. Com a Indústria 4.0, esses métodos de fabricação de aditivos serão amplamente utilizados para produzir pequenos lotes de produtos personalizados que ofereçam vantagens de construção, com “designs” complexos e leves. Segundo Rubmann *et al*. (2015) “os sistemas de manufatura aditiva descentralizada e de alto desempenho reduzem as distâncias de transporte e o estoque disponível”.

7. *Realidade Aumentada* (RA): permite que o mundo virtual seja misturado ao real, ou seja, o existente é complementado de informações através do virtual. O objetivo da Realidade Aumentada é acrescentar informações ao ambiente físico. Com o auxílio de algum dispositivo de RA, o tempo de execução de algumas tarefas é diminuído e aprimorado. (HAUTSCH, 2009).

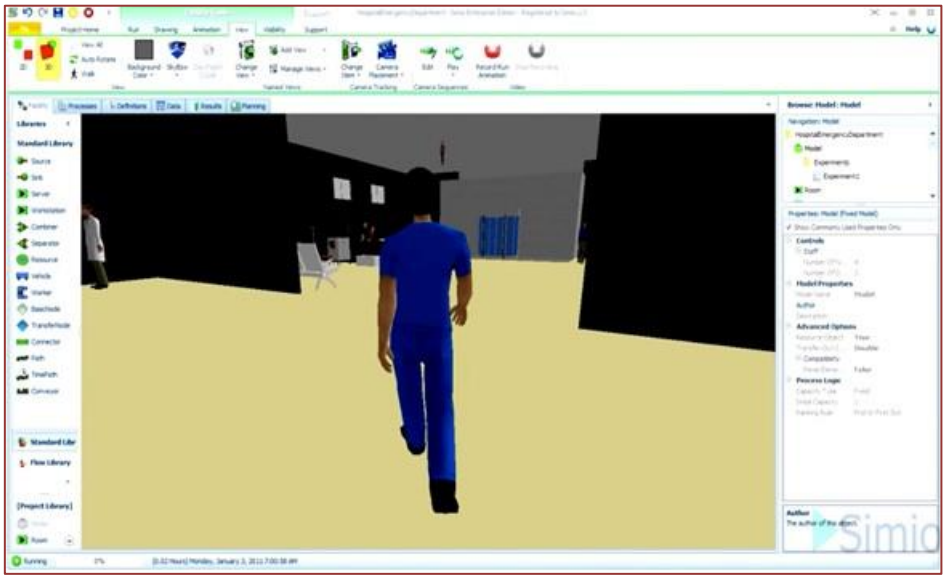
8. *Big Data*: a análise de grandes conjuntos de dados emergiu recentemente no mundo da manufatura de modo a otimizar a qualidade de produção, economizar

energia e aumentar a produtividade. No contexto da Indústria 4.0 a avaliação de dados de diversas fontes tem se tornado um padrão para suportar tomadas de decisões em tempo real. (CHAN *et al*., 2017).

9. *Simulação*: A simulação em um computador é o processo de elaboração de um modelo de um sistema real experimentando-o em um computador. Segundo Rubmann et al. (2015) "na fase de engenharia, já são utilizadas simulações tridimensionais de produtos, materiais e processos produtivos, mas, no futuro, as simulações serão usadas mais extensivamente nas operações. Essas simulações alavancarão dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos. Isso permite que os operadores testem e otimizem as configurações de um sistema, operação ou equipamento para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da troca ou implementação física, aumentando a qualidade".

A animação 3D auxilia o usuário a visualizar a simulação, embora esteja limitado a uma exibição bidimensional conforme visto na Figura 1.

Figura 1: Tela de visualização e animação 3D de uma Fábrica Virtual



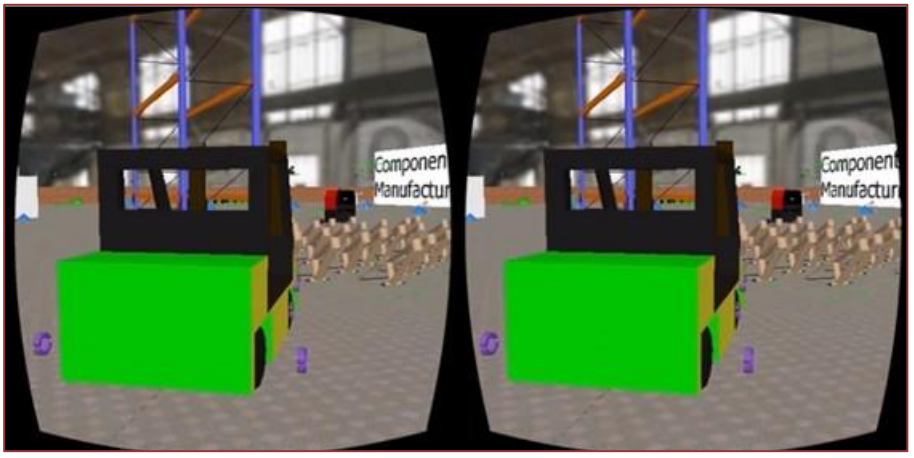
Fonte: (SIMIO, 2018).

Recentemente, o desenvolvimento da simulação computacional tomou uma nova direção. Atualmente, a imersão em VR, tornou-se possível devido ao aumento dos recursos gráficos dos computadores. As Figuras 2 e 3 mostram simulações imersivas uma Fábrica Virtual.

Figura 2: Modelagem 3D de uma Fábrica Virtual usando o software SIMIO

Fonte: (MARCELINO, 2020).

Figura 3: Imagem da Imersão de uma Fábrica Virtual usando o Software SIMIO



Fonte: (MARCELINO, 2020).

A visualização tridimensional (3D) consiste em um fenômeno descrito como estereoscopia, que trata da projeção de duas imagens na mesma cena. O cérebro faz a fusão das duas imagens e passa a ter a percepção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos, gerando uma ilusão de visão em 3D.

Dentre as diversas pesquisas que existem na área de simulação em 3D, destacam-se os trabalhos pioneiros de *Visual Interactive Simulation* (VIS) de Hurrion (1976) e *Visual Interactive Modeling* (VIM) de Bell e O`Keefe (1997). A diferença entre eles é que o VIS tem a capacidade de visualização dos dados e interação com o modelo durante a simulação e o VIM consiste em aumentar a eficiência do modelador através de recursos gráficos. Posteriormente, foi proposta por Bell e Taseen (1990) a incorporação do conceito denominado *Visual Interactive Simulation Modeling* (VISM).

3. REALIDADE ESTENDIDA (XR)

Na última década, a maneira mais comum de representar ideias de projeto arquitetônico tem sido usando desenhos de projeção ortográfica 2D tradicionais (ou seja, elevações, seções e plantas baixas), juntamente com imagens realistas de modelos 3D digitais chamados renderizações. Essas renderizações eram feitas à mão no passado, mas, devido aos avanços tecnológicos, agora são feitas digitalmente em um computador usando diferentes softwares. Essas ferramentas proporcionaram muitos benefícios ao processo de construção, como: melhoria da comunicação, desenvolvimento fluido de ideias de *design* e identificação de problemas nos estágios iniciais do projeto. Embora essas representações tenham medidas precisas e materiais definidos, só podem ser vistas por meios bidimensionais, como impressão ou telas de computador, o que torna o processo menos intuitivo.

Nos últimos anos, a renderização arquitetônica recebeu a influência das tecnologias de Realidade Estendida (XR). Este é um termo que se refere a dispositivos vestíveis e gráficos gerados por computador que permitem a criação de ambientes reais e virtuais com os quais o usuário pode interagir. XR inclui muitos tipos de tecnologias, como Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV) e Realidade Mista (RM). Com os modelos imersivos XR, pode ser possível resolver muitos problemas existentes no processo de revisão de projeto atual que tradicionalmente têm soluções inconvenientes.

O termo *Realtity-Virtual Continuum* conforme mostra a Figura 12 denota uma escala contínua que varia entre o totalmente virtual e o totalmente real. A RV é comumente descrita como ambientes gerados por computador ou realidades que são projetados para simular a presença física de uma pessoa em um ambiente envolvente e um ambiente convincente.

O objetivo da RV é permitir uma pessoa experimentar e manipular o ambiente como se fosse o mundo real. (WOLFARTSBERGER, 2019).

3.1. REALIDADE VIRTUAL

O termo Realidade Virtual (RV) ou *Virtual Reality* (VR) é comumente referido como um conjunto de tecnologias dispositivos que incluem computadores, monitores tipo montado na cabeça ou *head-mounted*, fones de ouvido e luvas sensoriais de movimento. A RV é definida como "simulações eletrônicas de ambientes experimentados por meio de óculos montados na cabeça e roupas sensoriais permitindo ao usuário final interagir em situações tridimensionais realistas". (WOLFARTSBERGER, 2019).

Segundo Wolfartsberger (2019) "as tecnologias atuais de RV se baseiam em ideias que remontam a período anterior a década de 1960. Em 1968, Ivan Sutherland (Lee, 2013) criou o primeiro *head-mounted display* (HMD) que renderizou modelos simples para a mudança de pose do espectador. Esta invenção lançou as bases para as tecnologias que agora denominamos de Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Mista (RM)".

As primeiras aplicações podem ser encontradas nas áreas de jogos, marketing e publicidade. Para aplicações industriais, RV oferece um grande potencial que vai além de apenas olhar para modelos virtuais. A Prototipagem Virtual (VP) permite que os usuários examinem protótipos de forma realista. Muitas empresas realizam análises de *design* para

detectar erros em seus produtos antes que sejam fisicamente fabricados. A Figura 4 mostra uma interface de RV do Centro de Tecnologia da Daimler-Chrysler em 1999.

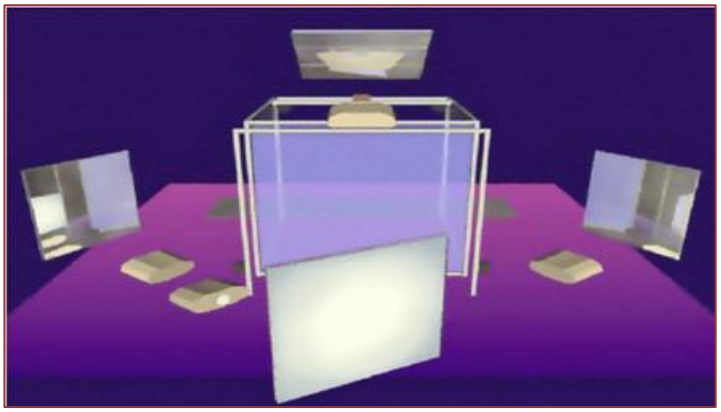
Figura 4: Para-brisa virtual – Centro de Tecnologia da Daimler-Chrysler em 1999

Fonte: (BROOKS, 1999).

Waly e Thabet (2002) apresentaram uma estrutura que utilizava técnicas de modelagem de RV juntamente com tecnologias orientadas a objetos para desenvolver uma ferramenta de planejamento da construção virtual denominada de *Virtual Construction Environment* ou Ambiente de Construção Virtual (VCE). O sistema exportava arquivos produzidos no AutoCad para o 3D Studio, um software de modelagem. O VCE utilizava a Linguagem de Modelagem em Realidade Virtual (VRML 2.0) para desenvolvimento de módulos de suporte ao usuário (USM) para uso em um ambiente *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE).

O CAVE foi desenvolvido no laboratório de Visualização Eletrônica da Universidade de Illinois, Chicago, no início dos anos 1990. O CAVE era um ambiente de áudio e vídeo 3D, dimensionado em sala, de alta resolução para a época. Consistia em um teatro composto de três telas de projeção traseira para as paredes frontal, direita e esquerda e uma tela de projeção para baixo para o chão. Os gráficos eram retroprojetados em estéreo em três paredes e no chão e vistos com óculos. À medida que um espectador usava um sensor de posição ele se movia dentro dos limites da tela (Figura 5). A perspectiva correta e as projeções estéreo do ambiente eram atualizadas por um supercomputador e as imagens se moviam com o espectador e com o que o cercava. As projeções em estéreo criavam imagens 3D que pareciam ter uma presença contínua dentro e fora da sala de projeção. Para o espectador com óculos estéreo, as telas de projeção tornavam-se transparentes e o espaço da imagem 3D parecia tender ao infinito. As informações podiam ser apresentadas por meio de hologramas 3D (informações visuais) e por meio de imagens projetadas nas paredes (informações visuais e textuais). (WALY E THABET, 2002).

Figura 5: Ambiente CAVE da Universidade de Illinois



Fonte: (BARGAR; CHOI; DAS, GOUDESEUNE, 1994).

Li (2003) propôs um sistema integrado de RV que gerava um ambiente de construção para o planejamento de atividades similarmente ao mundo real, a fim de planejar, avaliar e validar as operações da construção. Em 2008, Wang e Dunston (2008) já propunha um protótipo baseado em RM para melhorar a colaboração na revisão de projetos arquitetônicos.

3.1.1. CLASSIFICAÇÃO DA RV

A RV refere-se a um ambiente computacional imersivo, interativo, tridimensional (3D) e multissensorial. Uma fábrica RV permite investigar como as várias mudanças nas células de manufatura afetam a produção. A investigação é realizada em um computador gerando-se uma representação tridimensional da célula.

Os sistemas RV podem ser classificados de acordo com o realismo pretendido em orientado para *desktop* e sistemas imersivos. A classificação também é feita quanto ao nível de imersão: não imersivos, semi-imersivos e totalmente imersivos.

- **RV não imersiva**: Este tipo de RV é usado principalmente para fins educacionais e de treinamento (Figura 6). A entrada é feita por meio de bola de comando (*trackballs*), manipulador eletrônico (*joystick*), teclados e mouses. Monitores padrão de alta resolução são usados como dispositivos de saída. Os recursos de interação são baixos. (Boton, 2018).

- **RV semi-imersiva**: fornecem aos usuários um ambiente parcialmente virtual para interagir. Seus dispositivos de saída também são mais avançados e englobam grandes projetores ou monitores de tela para fornecer aos usuários uma experiência de alta resolução e, portanto, uma sensação melhor de imersão (Boton, 2018). Na Figura 7 os instrumentos na frente de um piloto de aeronave são reais e as janelas são telas exibindo um conteúdo virtual.

- *RV totalmente imersiva*: fornecem uma sensação ainda mais elevada de imersão e interação. Geralmente integram comandos de voz e luvas como dispositivos de entrada. Também usam HMD e CAVE como dispositivos de saída (Figura 8).

Figura 6: RV não imersiva

Fonte: (POETKER, 2019).

Figura 7: VR semi-imersiva

Fonte: (POETKER, 2019).

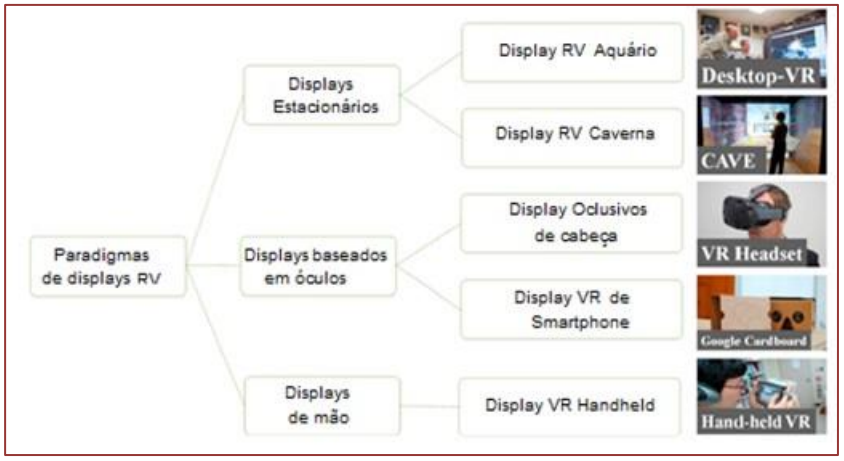
Figura 8: RV imersiva

Fonte: (POETKER, 2019).

3.1.2. TECNOLOGIAS DE RV

A RV se utiliza de tecnologias de software e de hardware. Os softwares de sistemas básicos e aplicações integram imagens 3D, áudio, vídeo, rede de dados, sistemas multitarefas, multiusuários e colaborativos compõem os recursos computacionais. Na parte do hardware são usados computadores, dispositivos móveis, luvas digitais, óculos estereoscópicos, capacete de imersão, teclado, mouse, sensores, câmeras, monitores, telas de projeção, cavernas digitais, controladores de jogo, equipamentos com retorno de força e movimento. A Figura 9 mostra os tipos de *displays* de RV. A Figura 10 mostra o uso de um equipamento de RV com manetes e dispositivo HMD da Oculus.

Figura 9: Tipos de Displays de RV



Fonte: Adaptado de (ZHANGA; LIU; KANGA; AL-HUSSEINA, 2020).

Figura 10: Uso de equipamento de RV

Fonte: (OCULUS, 2017).

A Figura 11 mostra na letra (a) um HMD que consiste em óculos da Oculus Rfit com microfone e fone. A letra (b) mostra sensores de movimentos do usuário e a letra (c) mostra os dispositivos de manipulação deste conjunto. A letra (d) mostra um equipamento para semi-imersão, através de dispositivo móvel, que é acoplado a um óculo de cabeça. Este dispositivo não apresenta fone ou microfone que é do próprio *smartphone* que deve estar habilitado para produzir RV.

Figura 11: Equipamentos de VR imersiva

(a) Óculos com microfone e fone

(b) Sensores de movimentos

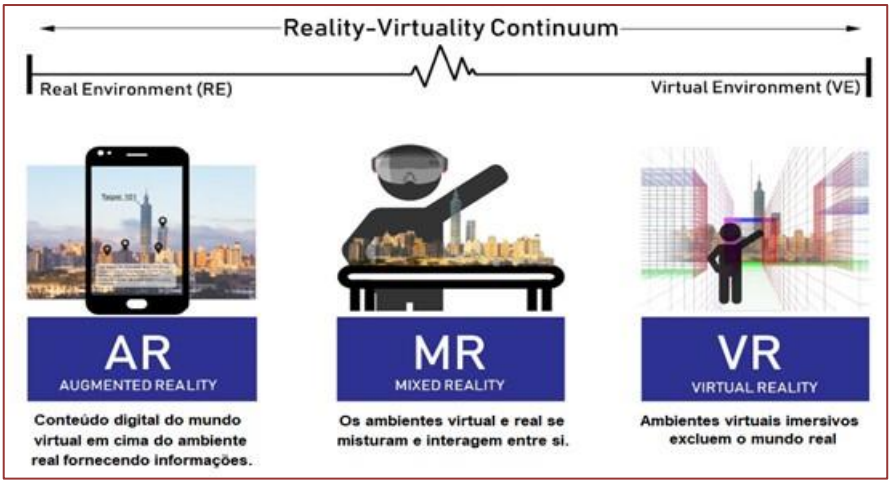
(c) Manetes

(d) Óculos para smartphone

Fonte: Fotografia dos autores (2021).

A Figura 12 apresenta as diferenças entre RA, RM e RV em um contínuo de virtualidade.

Figura 12: Diferenças entre RA, RM e RV

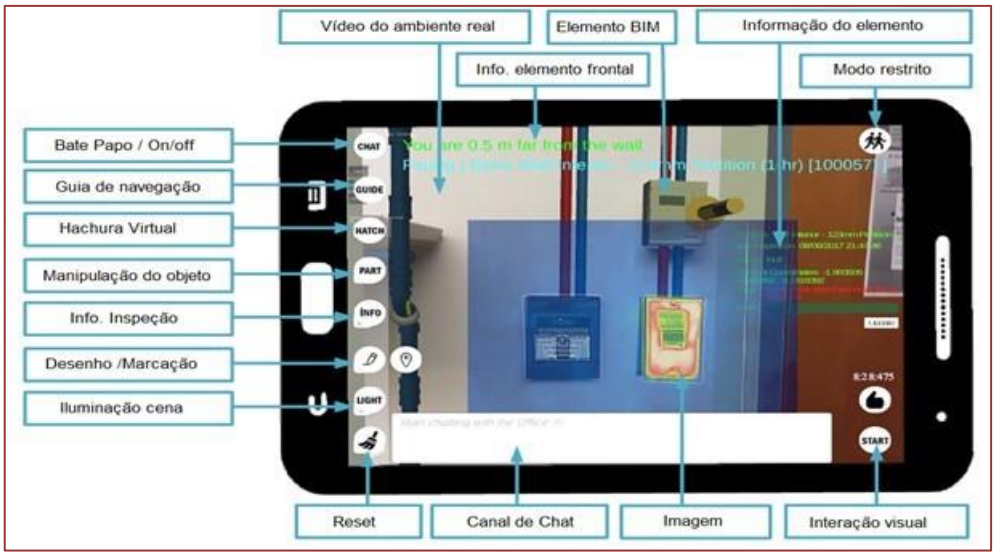


Fonte: Adaptado de (CARRASCO; CHEN, 2021).

3.2. REALIDADE AUMENTADA (RA)

A Realidade Aumentada (RA) ou *Augmented Reality* (AR) é uma sobreposição do conteúdo gerado por computador no mundo real que pode interagir superficialmente com o ambiente em tempo real. Com a RA, não há oclusão entre o conteúdo gerado por computador e o conteúdo do mundo real. Na maioria dos casos, o conteúdo gerado por computador é visualizado em dispositivos móveis. A Figura 13 mostra a visualização do módulo de um sistema de RA. A visualização consiste em combinação do vídeo da câmera real, aumentando os elementos, dados sensoriais (ou seja, imagem térmica), informações textuais recuperadas de bancos de dados BIM.

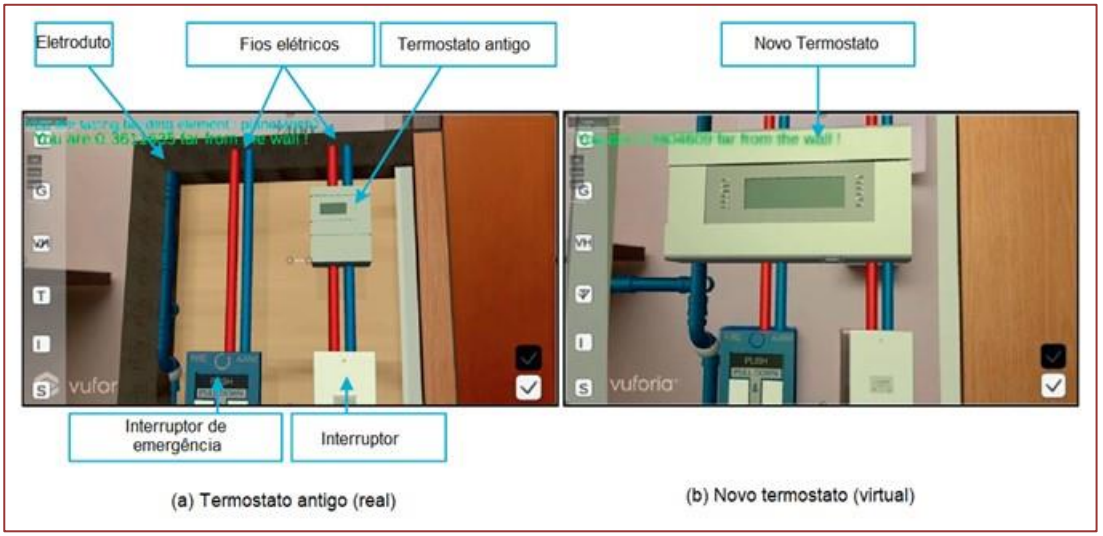
Figura 13 : Interface gráfica do usuário de um módulo de AR



Fonte: Adaptado de (AMMARI; HAMMADB, 2019).

Ammari e Hammadb (2019) mostra uma tarefa de teste de reinstalação na área de Gestão de Facilidades usando BIM e RA. A tarefa do trabalhador de campo é substituir um termostato fixado na parede. A letra (a) da Figura 14 mostra um termostato antigo que deve ser substituído por um novo modelo mostrado na letra (b). O sistema de RA auxilia o trabalhador de campo verificar as condições de instalação. Antes de instalar o novo termostato, com base em seu julgamento, o trabalhador de campo pode usar seu dedo para posicionar o novo termostato virtual em um local adequado para evitar conflitos com objetos visíveis próximos (interruptor de emergência e interruptor de luz) e objetos invisíveis dentro da parede (canos de água que emitem calor).

Figura 14: Visualizações do módulo RA dos termostatos antigos e novos



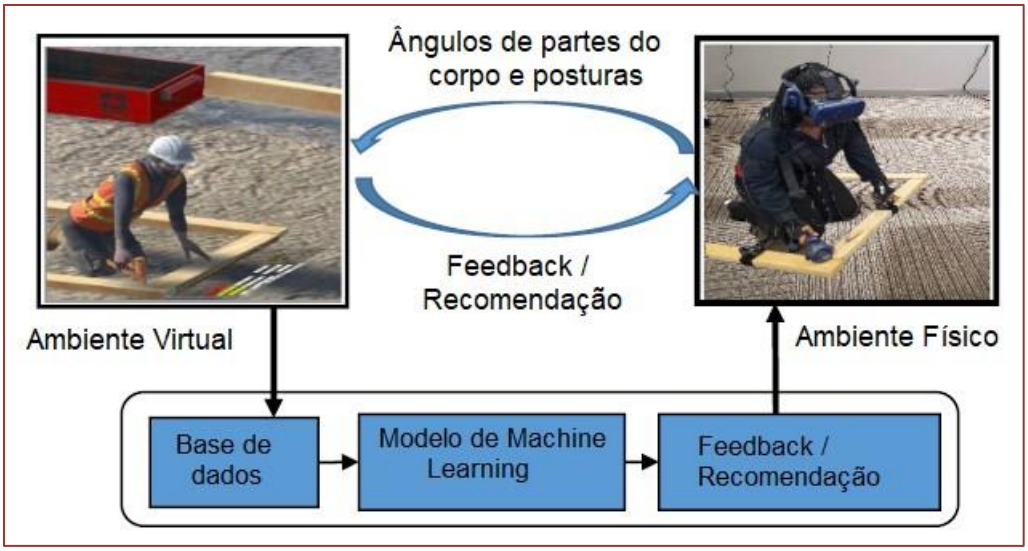
Fonte: Adaptado de (AMMARI; HAMMADB, 2019).

3.3. REALIDADE MISTA (RM)

A Realidade Mista (RM) ou *Mixed Reality* (MR) é uma técnica de visualização que pode ser usada para melhorar a percepção visual da instalação sobrepondo objetos virtuais 3D e informações textuais no topo da visão de objetos de construção do mundo real.

A Figura 15 mostra um sistema de treinamento postural físico-cibernético que se integra a recursos computacionais, como RV, sensores vestíveis e aprendizado de máquina, com os movimentos físicos de trabalhadores da construção. Dentro do ambiente virtual o sistema fornece exemplos de exercícios práticos de como realizar tarefas de uma construção real com posturas seguras. O sistema emprega sensores vestíveis para rastrear os segmentos corporais dos aprendizes enquanto estes desenvolvem os exercícios práticos. Os dados capturados da rotação do segmento corporal são analisados e usados pelo modelo de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* - ML). O modelo de aprendizado de máquina tem a função de aprender automaticamente o comportamento ou movimento do aprendiz e fornecer os materiais de instrução necessários para alcançar posturas ergonomicamente seguras. (AKANMU; OLAYIWOLA; OGUNSEIJU, 2020).

Figura 15: Sistema de treinamento postural físico-cibernético



Fonte: Adaptado de (AKANMU; OLAYIWOLA; OGUNSEIJU, 2020).

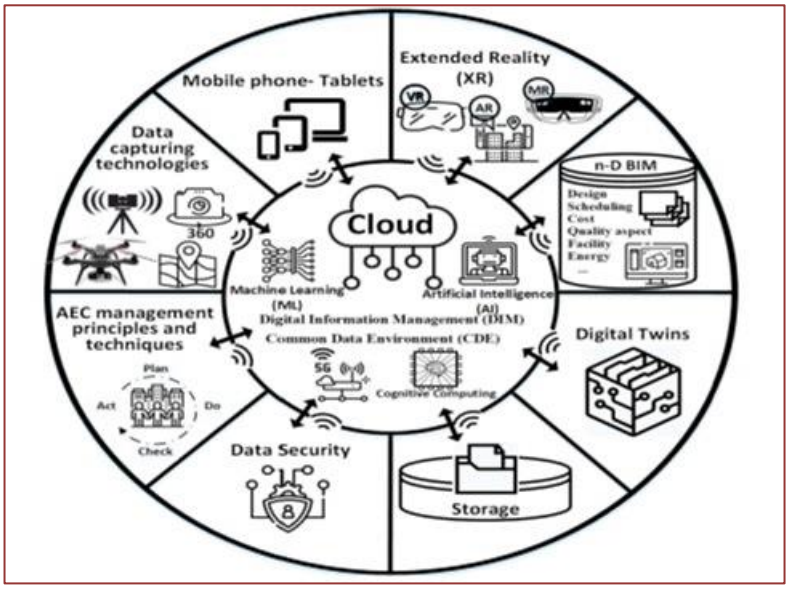
4. RV NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL 4.0

Segundo Alizadehsalehi, Hadavi e Huang (2020) "é inevitável que a indústria de AEC mude como resultado do progresso contínuo em XR, sistemas de computação em nuvem, Aprendizado de Máquina (ML), Inteligência Artificial (IA), tecnologias de computação cognitiva, entre outras biologicamente inspiradas. Além disso, uma maior largura de banda, velocidade e latência aprimorada que em breve serão fornecidas pela tecnologia sem fio de quinta geração (5G) permitirá que as tecnologias XR ofereçam novas soluções para melhorar a colaboração criativa e interativa remota e colocalizada de equipes de projeto com entrada de informações multimodais em tempo real" (Figura 16).

O BIM como metodologia para criar, compartilhar, trocar e gerenciar informações ao longo do ciclo de vida de um edifício entre todas as partes interessadas, permite a visualização de uma grande quantidade de dados.

O ciclo de vida (Figura 17) de um edifício consiste principalmente nos estágios de projeto, construção, operação, manutenção e final da vida, onde cada estágio pode ser dividido em camadas de informações sobrepostas, que requerem estratégias eficientes de troca de informações para interoperabilidade, em todos os estágios do ciclo de vida. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021). Por exemplo, as informações sobre os detalhes do projeto precisam ser trocadas entre os diferentes membros da equipe de engenharia durante o estágio de projeto. As diferentes partes interessadas precisam comunicar o andamento do projeto e da construção entre si durante a fase de construção. Além disso, as equipes de operação do edifício e de gestão das instalações precisam obter *feedback* das instalações e dos ocupantes da construção durante a operação.

Figura 16: "AECO Roadmap"



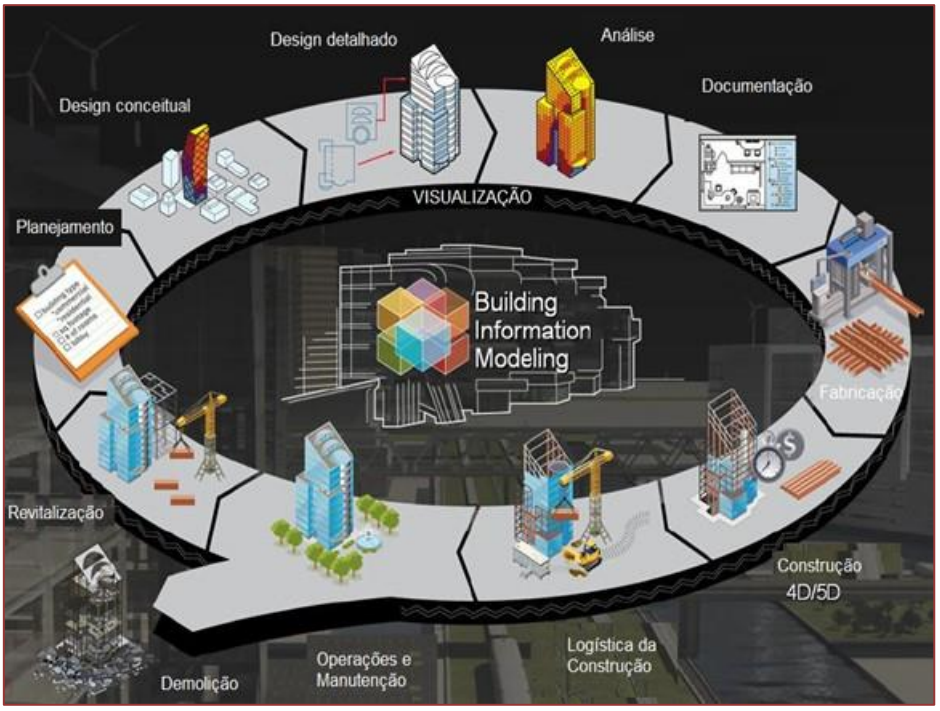
Fonte: (ALIZADEHSALEHI; HADAVI; HUANG, 2020).

Um esforço significativo deve, portanto, ser investido para se alcançar a atualização e troca de informações eficientes ao longo do ciclo de vida de um edifício. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021).

O projeto ou desenho auxiliado por computador (CAD), as ferramentas de *design* e a gestão de edifícios evoluíram ao longo de décadas. O termo *Building Information Model* foi proposto pela primeira vez no início dos anos 90 (Gaspar e Ruschel, 2017). Posteriormente foi denominado *Building Information Modeling* (BIM), atraiu muita atenção e generalizou-se nas últimas décadas. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021).

Como uma representação digital 3D de edifícios, um modelo BIM contém informações geométricas e semânticas dos elementos de construção (EASTMAN *et al*. 2013). Devido ao banco de dados compartilhável e consistente, o BIM facilita a colaboração entre profissionais da AECO e, portanto, tem sido amplamente aplicado na gestão do ciclo de vida da construção, incluindo a fase de planejamento, projeto, processo de construção bem como as fases operacionais. Por exemplo, informações geométricas detalhadas associadas a simulações apropriadas (simulação de energia e simulação de ambiente térmico) podem ajudar no projeto do edifício e seus. Simulações 4D baseadas em BIM com material detalhado e informações de custo podem igualmente fornecer suporte para os projetos e processos de construção.

Figura 17: Ciclo de vida de um edifício, desde a fase de projeto até a demolição



Fonte: Adaptado de (FLODIN, 2013).

Com 5D BIM, o modelo e o cálculo estão vinculados o que significa que se houver uma mudança no modelo, o cálculo também muda, dependendo materiais, mão de obra etc., dependendo de quais parâmetros foram definidos. Isto economiza muito tempo de cálculo manual e erros simples são evitados. Naturalmente, quem visualiza de forma rápida pode facilmente escolher e substituir um material em relação ao custo e comparar diferentes opções umas com as outras. A Figura 18 apresenta a ilustração do que representa o 5D nas construções.

Figura 18: Ilustração da representação do 5D das construções

Fonte: Adaptado de (FLODIN, 2013).

Além disso, com a ajuda de visualização 3D e detalhes dos elementos de construção fornecidos pelo BIM, os planos de gestão do edifício podem ser otimizados para auxiliar

no gerenciamento dos equipamentos e do ambiente interno. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021). No entanto, o próprio BIM geralmente pode fornecer apenas dados estáticos do ambiente construído e não pode atualizar informações em tempo real nos modelos automaticamente sem fontes de dados adicionais. Com o advento da Internet das Coisas (IoT), que é definida como a interconexão de dispositivos de detecção capazes de fornecer troca de informações entre diferentes plataformas, a integração de dados de detecção em tempo real e as informações estáticas fornecidos por modelos BIM tornaram-se possíveis. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021).

Com a ajuda de dispositivos inteligentes, a visualização e análise de dados em tempo real tornaram-se disponíveis em modelos BIM. A atualização automatizada de modelos BIM com base no status da construção em tempo real foi atingida. A base da integração de BIM e IoT levou ao surgimento dos Gêmeos Digitais. Segundo Deng, Menassa e Kamat (2021) "o conceito de *Digital Twin* (DT) originou-se do campo aeroespacial, expandiu-se para a manufatura industrial e tem atraído cada vez mais atenção no domínio BIM para projeto, monitoramento, gestão de processos de construção e Gestão de Facilidades (FM)".

Para Rojek *et al*. (2021) um gêmeo digital é uma réplica digital dinâmica de um objeto técnico (por exemplo, um sistema físico, dispositivo, máquina ou processo) ou um organismo vivo. Usar este tipo de solução tornou-se parte integrante da Indústria 4.0 da Construção Civil, oferecendo aos negócios benefícios tangíveis, além de ser particularmente eficaz no contexto da produção e manutenção de edificações sustentáveis.

A Figura 19 mostra os reflexos dos elementos físicos em um DT. O sistema DT visa melhorar os programas de segurança ao julgar os indivíduos com comportamentos de risco. O sistema identifica e registra o comportamento inseguro de um trabalhador durante a atividade de construção em um local. Em seguida, é fornecido um treinamento direcionado para melhoria do conhecimento e da conscientização do trabalhador sobre segurança no desenvolvimento da atividade. (ROJEK *et al*., 2021).

De acordo com Rojek *et al*. (2021) "para transformar dados em conhecimento em DT, é necessário utilizar Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) e métodos de exploração de dados da Inteligência Artificial (IA)". Os principais métodos usados nos gêmeos digitais são: Redes Neurais, Redes Bayesianas dinâmicas e Algoritmo genético NSGA-II (LIM *et al*., 2019), agentes, sistemas nebulosos (*fuzzy*) e as abordagens de IA híbrida.

Figura 19: Elementos físicos refletidos no ambiente de Gêmeos Digitais (DT)

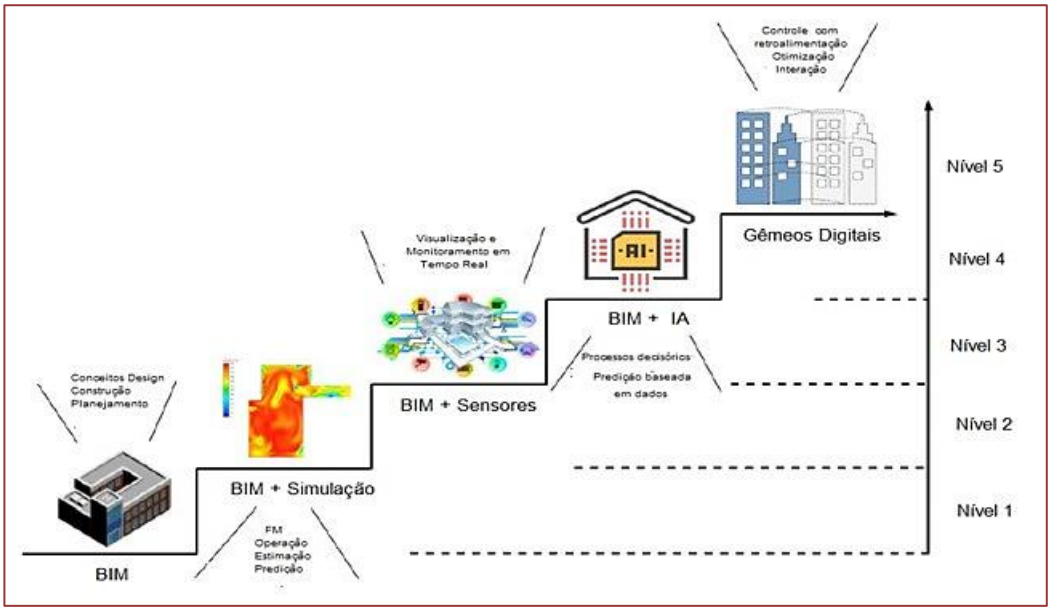
Fonte: (HOU et. al. 2021).

Segundo Deng, Menassa e Kamat (2021) através de uma revisão sistemática da literatura estabeleceu as características de um DT ideal do ambiente construído propondo a taxonomia mostrada na Figura 20. Os estudos no Nível 1 usam o BIM como uma ferramenta de visualização 3D estática para fornecer as informações necessárias para ajudar nas formas tradicionais de *design* do envelope de construção, modificação de desenho, programação de construção, estimativa de custo e outras funções. A aplicação do BIM neste nível visa fornecer uma melhor estratégia de compartilhamento de informações entre as diferentes partes interessadas ao longo do ciclo de vida do edifício. Além de depender exclusivamente de modelos BIM estáticos para o projeto conceitual tradicional e gerenciamento de instalações com base em percursos 3D, o Nível 2 passa a incorporar diferentes análises e simulações com modelos BIM. Os estudos no Nível 3 começam a conectar modelos de edifícios digitais com dados de detecção em tempo real para monitoramento e gerenciamento do ambiente de edifícios. Depois de incorporar diferentes sensores IoT inteligentes, os dados do ambiente de construção em tempo real podem ser facilmente obtidos e visualizados em modelos digitais 3D, o que pode ser útil para a tomada de decisão em tempo ou mudança de estratégia durante qualquer fase do ciclo de vida do edifício. Estudos no Nível 4 têm aprimorado ainda mais o monitoramento e gerenciamento do ambiente de construção, incorporando algoritmos de IA para previsões em tempo real com base em modelos desenvolvidos a partir de dados coletados de sensores inteligentes. Com estratégias de tomada de decisão apropriadas com base na previsão em tempo real, estratégias mais precisas e confiáveis podem ser obtidas automática ou semiautomática pelo gerente do edifício, de modo a obter uma operação e instalação mais eficientes do edifício. O nível final de avanço proposto no sistema de caracterização de escada na Figura 20, ou seja, Nível 5: *Digital Twin* que inclui não apenas visualização em tempo real e previsão para apoiar a tomada de decisão, mas também suporta *feedback* automático e controle do ambiente construído. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021).

Além dos recursos suportados nos Níveis 1- 4, um ambiente construído com um sistema de controle de *feedback* inteligente permite tomar ações automaticamente com base nos resultados otimizados e estratégias de controle. Normalmente, isso pode ser atingido com a exploração de tecnologias relacionadas, como IA e algoritmos de ML. Em tais DT, os ambientes virtuais e do mundo real podem interagir perfeitamente uns com os

outros. A simulação em 3D promove a criação e visualização de objetos, elementos, cenários, fluxos e *layouts*, além de gerar e analisar os dados do sistema, tornando-se uma ferramenta de imersão (experiência da presença no ambiente) e de interação (capacidade de modificação do espaço). Dentro disso é possível fazer a visualização do ambiente/ objeto simulado em diferentes perspectivas além das informações de profundidade, distância, posição e tamanho, sendo semelhante ao sistema real, proporcionando melhor visualização, percepção de problemas atuais e riscos futuros e para melhoria contínua dos fluxos produtivos. (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021).

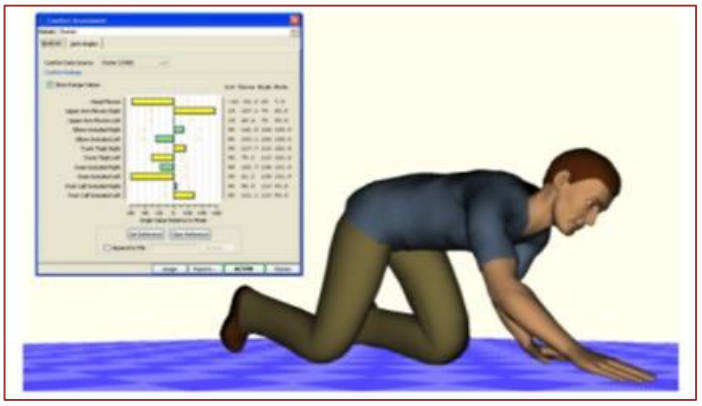
Figura 20: Evolução do BIM para gêmeos digitais no ambiente construído



Fonte: (DENG; MENASSA; KAMAT, 2021).

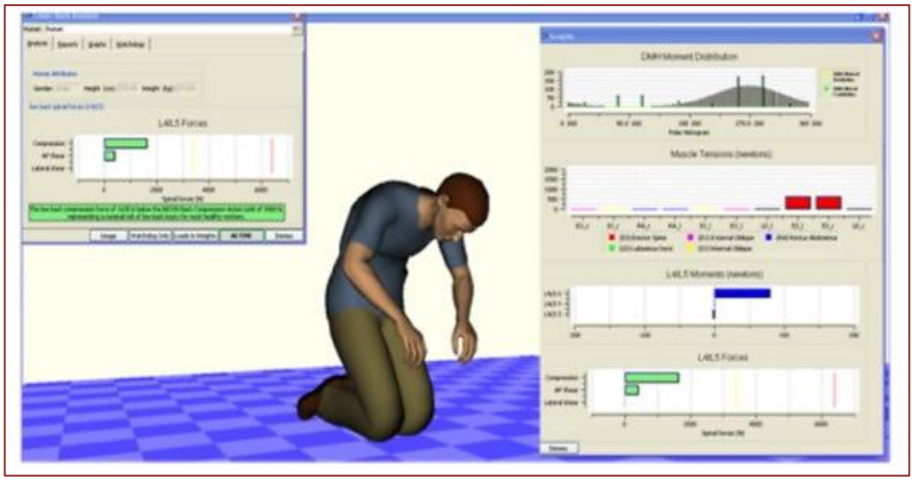
As Figuras 21 e 22 apresentam as telas da Ferramenta de Modelagem Digital de Humanos para análises ergonômicas da Siemens, denominada “Jack”. O aplicativo executa a modelagem biomecânica da parte inferior do corpo de um manequim em presença de força estática e torque na coluna lombar que pode ser quantificado. Pela comparação do modelo simulado com o valor de dados armazenados o software pode indicar se a posição é de risco ergonômico ou não. (BERLIN; ADAMS, 2017).

Figura 21: Tela da Ferramenta de Análise de Conforto Jack da Siemens



Fonte: (BERLIN; ADAMS, 2017).

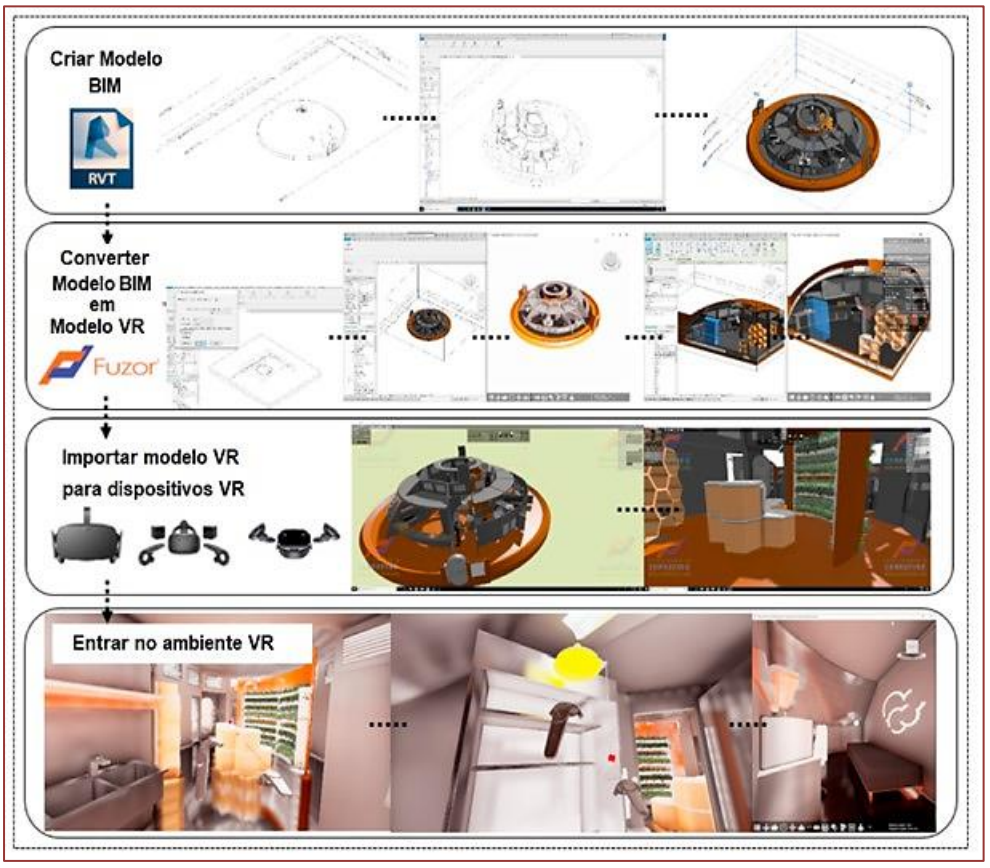
Figura 22: Tela da Ferramenta de Análise da parte inferior das costas em Jack da Siemens



Fonte: (BERLIN; ADAMS, 2017).

A Figura 23 mostra o fluxo de trabalho de conversão de um modelo 3D-BIM para modelo visível em RV. Inicialmente cria-se o modelo 2D / 3D-BIM rico em informações com uma ferramenta de autoria (por exemplo, *Revit* da *Autodesk*). Transfere-se para um servidor de banco de dados em nuvem (tal como *BIM 360* da *Autodesk*) para fornecer um espaço de armazenamento online para acesso (em tempo real) a todos os membros da equipe de um projeto. Na próxima etapa, utiliza-se um aplicativo para conversão do modelo BIM para o modelo RV (plugin *Fuzor* do *Revit*) e posterior imersão no ambiente virtual que pode ser feita por óculos tais como: *Oculus Rift* (OCULUS, 2017), HTC Vive ou Samsung HMD. (ALIZADEHSALEHI; HADAVI; HUANG, 2020).

Figura 23: Fluxo de trabalho de BIM para VR



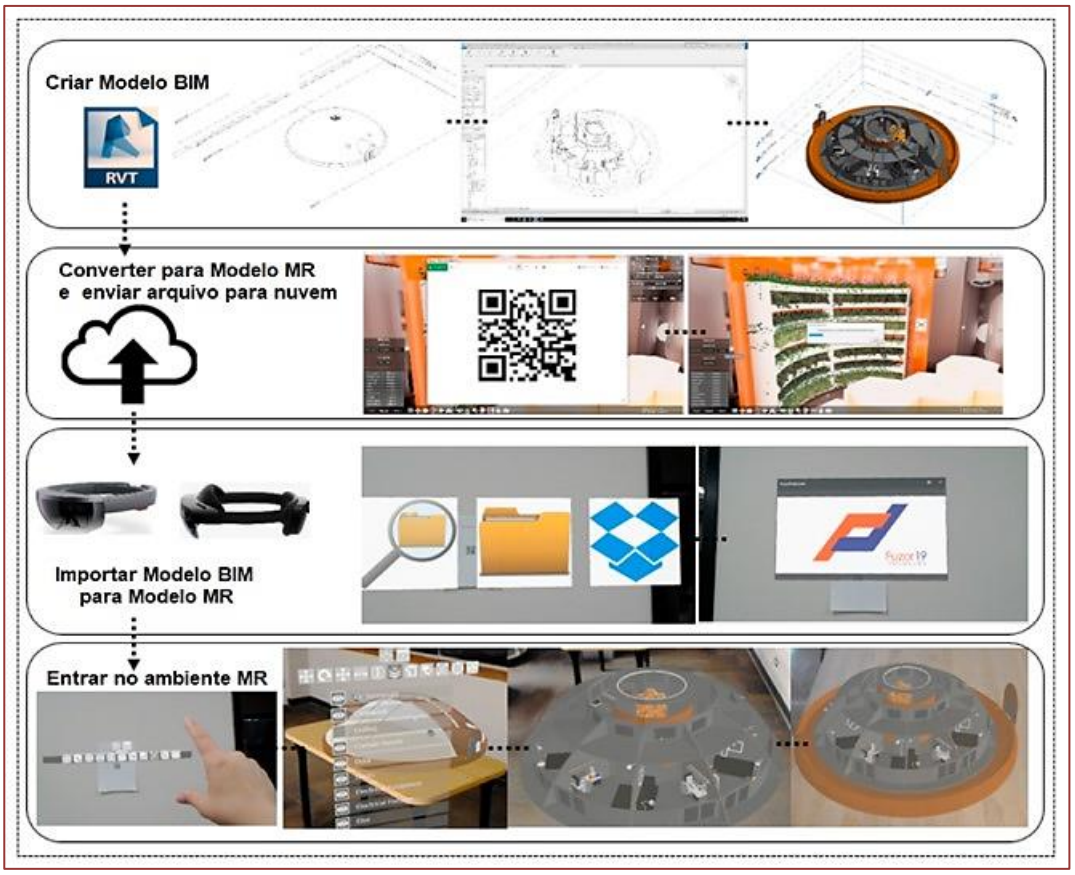
Fonte: Adaptado de (ALIZADEHSALEHI; HADAVI; HUANG, 2020).

A Figura 24 mostra o fluxo de trabalho da conversão de um modelo BIM em modelo visível RM. O fluxo de trabalho de BIM para RM começa com a criação de um modelo 2D / 3D-BIM. O arquivo do modelo BIM é enviado para conversão (usando Fuzor) em um modelo RM em um servidor de banco de dados e armazenamento em nuvem (*Autodesk BIM 360*) para acesso em tempo real.

A imersão do usuário no ambiente é feita por dispositivos de experiência imersiva (*Microsoft HoloLens*). Ao projetar um modelo BIM diretamente sobre um físico ambiente em RM, a equipe pode avaliar o projeto em um ambiente imersivo e forma interativa. (ALIZADEHSALEHI; HADAVI; HUANG, 2020).

Um exemplo da aplicação da Realidade Virtual é o "Canteiro de Obras Virtual" (VCS). O VCS foi configurado usando uma CAVE de realidade virtual (*Cave Automated Virtual Environment*). O modelo de site virtual representava quatro andares de um edifício residencial com quatro apartamentos por andar. Um modelo digital foi construído usando *Autodesk REVIT*, preparado usando *3D Studio* e exibido usando *EON Studio* em uma CAVERNA EON Icube de três lados. (GUREVICH; SACKS, 2013).

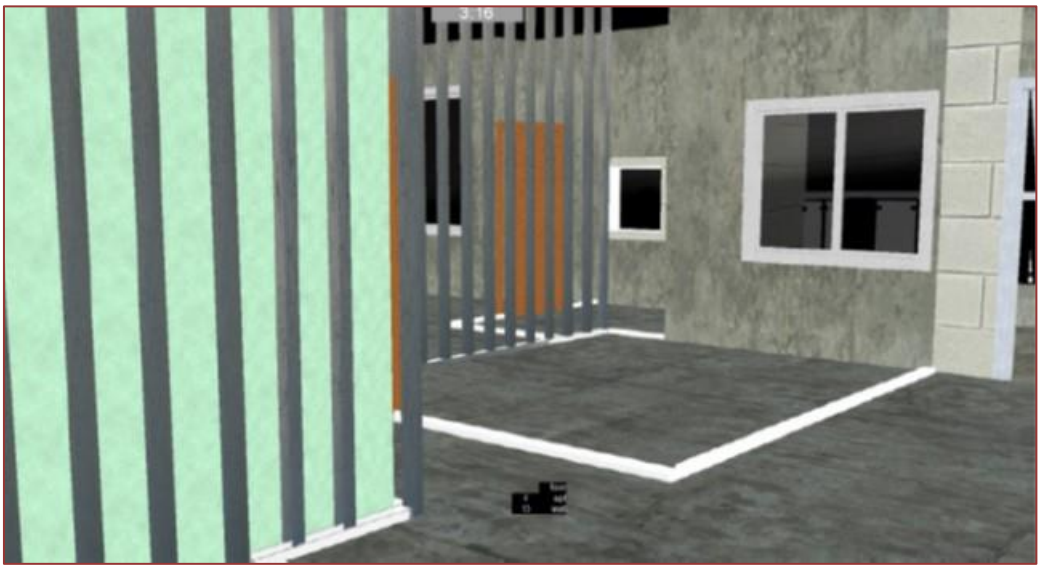
Figura 24: Fluxo de trabalho de BIM para MR



Fonte: Adaptado de (ALIZADEHSALEHI; HADAVI; HUANG, 2020).

No VCS, os sujeitos navegaram pelo prédio e construíram as divisórias de *drywall* em cada um dos 16 apartamentos do prédio. Eles usaram um dispositivo de controle remoto para ativar as marcações no chão para construir consecutivamente a estrutura de vigas de partição, cobrir um lado com tábuas e, em seguida, cobrir o segundo lado com tábuas. A Figura 25 mostra uma vista interna de um apartamento virtual, mostrando marcações no chão (à direita), vigas construídas (centro) e vigas com um lado das placas construído (à esquerda). A incerteza foi introduzida pela aplicação aleatória de obstáculos à instalação de *drywall* em certos apartamentos, como materiais armazenados em um apartamento que obstruem o trabalho, andaimes deixados por outras empresas ou pela introdução de alterações tardias no projeto. O tempo, a natureza e a localização das ações dos sujeitos foram registrados ao longo das execuções experimentais. (GUREVICH; SACKS, 2013).

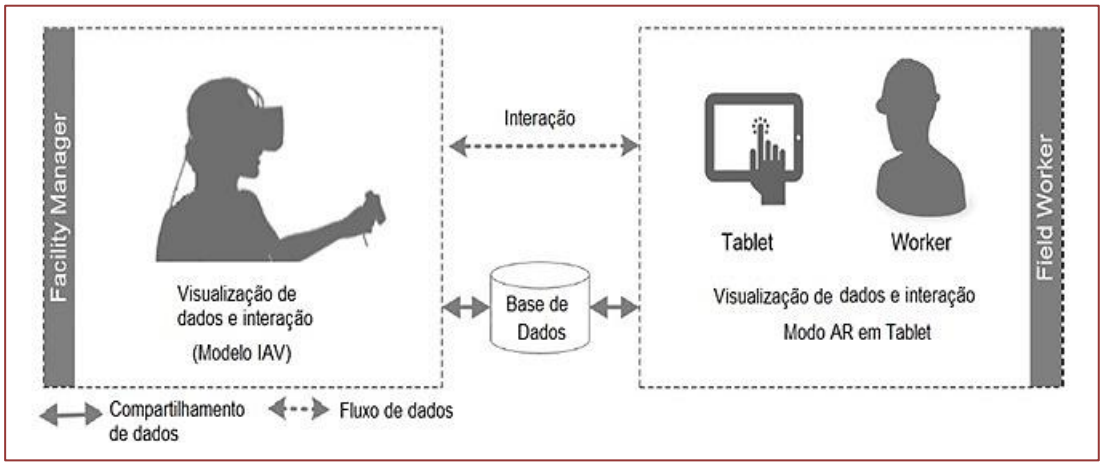
Figura 25: Vista interna de um apartamento virtual



Fonte: (GUREVICH; SACKS 2013).

Ammari e Hammadb (2019) apresenta o desenvolvimento de uma abordagem RM colaborativa baseada em BIM para apoiar as tarefas de campo das instalações. A estrutura proposta integra informações de instalações de múltiplas fontes, modelos BIM e rastreamento baseado em recursos em uma configuração baseada em RM para recuperação de informações baseadas no tempo (por exemplo, cronograma de inspeção) e a localização do trabalhador de campo, visualizar a inspeção e operações de manutenção, e apoiar a colaboração remota e comunicação visual entre o campo trabalhador e o gerente no escritório. O trabalhador de campo usa um aplicativo de RA instalado em seu *tablet* (Figura 26). O gerente do escritório usa um aplicativo de Virtualidade Aumentada Imersiva (IAV) instalado em um computador *desktop*. Com base na localização do trabalhador de campo, bem como na programação de inspeção ou manutenção, o trabalhador de campo recebe ordens de serviço e instruções do escritório. Outros dados sensoriais (por exemplo, termografia infravermelha) pode fornecer camadas adicionais de informações, aumentando a visão real do trabalhador de campo e apoiando-o na tomada de decisões eficazes sobre problemas existentes e potenciais durante a comunicação com o escritório em um modo de Colaboração Virtual Interativa (IVC).

Figura 26: RM em Gestão de Facilities



Fonte: Adaptado de (AMMARI; HAMMADB, 2019).

Ao transferir dados de projeto (BIM conforme projetado) e construção (*BIM as-built)* para a fase FM, o BIM fornece um repositório central que elimina a redundância de dados e links das especificações e instruções de manutenção para componentes de construção. Em FM, os sistemas de software podem ser divididos em contêineres de dados (por exemplo, servidores FTP, bancos de dados e informações BIM) e sistemas de fluxo de trabalho (por exemplo, sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP), sistemas de gestão do local de trabalho (IWMS), sistemas computadorizados de gestão de manutenção (CMMS) e Sistemas de Gerenciamento de Instalações auxiliados por computador (CAFM). (MASLESA; JENSEN,2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção tem um método de gestão dispersa. Este setor tem a necessidade adaptar processos e procedimentos visando uma mais abordagem integrada para harmonizar tecnologia e pessoas em direção a objetivos estratégicos. Com a simulação em 3D, tem-se maior interatividade, garantindo maiores percepções com objetivo finalístico de oferecer benefícios para as empresas como a diminuição de erros e custos na concepção de projetos e na melhoria dos processos com inserção da tecnologia na construção civil.

As interfaces avançadas, como ambientes de realidade virtual (RV) estão emergindo como uma forma sofisticada e eficaz de renderização de informações espaciais. Tal tem sido o caso das ferramentas utilizadas em Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) e em outras atividades específicas, como planejamento de manufatura e manutenção industrial.

As tecnologias de modelagem de informação (incluindo BIM) sustentam muitos dos avanços feitos e continuarão a ser a base para direções futuras. A representação digital detalhada é necessária para incluir uma gama de aspectos do ciclo de vida das construções, melhorar a precisão e produtividade.

Com poder de computação e técnicas de otimização avançando, a modelagem está se tornando cada vez mais realista, mas, apesar disso, existem desafios na integração de

todos os aspectos de modelos conceitualmente possíveis. É necessária muita formação incluindo diversos profissionais que irão colaborar entre si e com sistemas no mundo BIM.

O uso das tecnologias auxiliará na redução de uma parte da complexidade inerente à construção civil, mas o grande desafio é produzir modelos que sejam realistas e utilizáveis por todas as disciplinas envolvidas. Entretanto, não adianta ao profissional o domínio da tecnologia da informação disponível. É necessário ao gestor, projetista, facilitador e qualquer profissional BIM da AECO possuir base teórica que sustente a sua profissão.

Por mais moderno que seja um sistema, por mais "inteligente" ele não aumentará a produtividade de quem não souber o porquê, como e onde operá-lo. Os sistemas e modelos são complementares ao conhecimento humano e as experiências dos profissionais, não serão substituídas nas tarefas mais complexas, decisórias e de pensamento. É necessário que o profissional se atualize e faça bom uso do que a tecnologia o pode oferecer.

Outro grande desafio é a inclusão de conceitos que são significativos, mas menos formalizados do que os tradicionais de engenharia. Um sistema BIM inteligente por mais elaborado tecnologicamente ainda não pode conter o conhecimento de senso comum, a admiração ao espaço, a sensibilização social, a consciência política, o apreço pela arte e capacidades inerentemente humanas. Pode-se argumentar que as direções e desafios de alto nível não são muito diferentes daqueles de anos atrás. No entanto, vale ressaltar que, com o aumento dos recursos de TI e das maiores expectativas dos tomadores de decisão, as ambições atuais são de magnitude maior.

Com a adoção do BIM e das suas metodologias, tecnologias e ferramentas, que o sustentam, os desafios resultantes são agora muito maiores em escala, largura e profundidade.

REFERÊNCIAS

[1] AKANMU, Abiola A.; OLAYIWOLA, Johnson; OGUNSEIJU, Omobolanle; MCFEETERS, David. Cyber-physical postural training system for construction workers. Automation in Construction, v. 117, 2020.

[2] ALIZADEHSALEHI, Sepehr; HADAVI, Ahmad; HUANG, Joseph Chuenhuei. From BIM to extended reality in AEC industry. Automation in Construction, v. 116, 2020.

[3] ALVES, Fernando; VALINO, Ronaldo. Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil. Pesquisa Global indústria 4.0: Relatório Brasil, Pricewaterhouse Coopers Brasil, 2016.

[4] AMMARI, Khaled El; HAMMADB, Amin. Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality. Automation in Construction, v. 107, 2019.

[5] BARGAR, Robin; CHOI, Insook; DAS, Sumit; GOUDESEUNE, Camille. Model-based interactive sound for an immersive virtual environment, ICMC Proceedings, p. 471-474, 1994.

[6] BARRETT, Peter; FINCH, Edward. Facilities management: the dynamics of excellence. Third edition, West Sussex: John Wiley & Sons, Cap. 7, 2014.

[7] BELL, P.C.; O`KEEFE, R.M. Visual Interactive Simulation – history, recent developments, and major issues. Simulation, v. 49, p.109-116, set. 1997.

[8] BELL; Peter C.; TASEEN; Arshad A.; KIRKPATRICK, Paul F. Visual interactive simulation modeling in a decision support role. Computers & Operations Research. v. 17, n. 5, p. 447-456, 1990.

[9] BERLIN, C.; ADAMS, C. Production Ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance. Cap. 9, p. 161–174. London: Ubiquity Press, 2017.

[10] BOTON, Conrad. Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-

based collaborative BIM 4D simulation. Automation in Construction, v. 96, p. 1–15, 2018.

[11] BROOKS JR., Frederick P. What's Real About Virtual Reality? Special Report IEEE, November/December 1999.

[12] CARRASCO, M. D. O.; CHEN, P. Application of mixed reality for improving architectural design comprehension effectiveness. Automation in Construction, v. 126, 2021.

[13] CHAN, W.K.V.; D´AMBROGIO, A.; ZACHAREWICZ, G.; MUSTAFEE, N.; WAINER, G.; PAGE, E. The Application of SIMIO Scheduling in Industry 4.0. In: Proceedings of the 2017, Winter Simulation Conference, p. 4425-4434, 2017.

[14] DENG, Min; MENASSA, Carol C.; KAMAT, Vineet R. From BIM To Digital Twins: A Systematic Review of the Evolution of Intelligent Building Representations in the AEC-FM Industry. Journal of Information Technology in Construction, ITcon v. 26, p. 58, 2021.

[15] EASTMAN Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. São Paulo: Bookman, 2013.

[16] FLODIN, Simon. Building Information Modeling, BIM. Examensarbete, Universidade Técnica de Luleå, 2013.

[17] GASPAR, João Alberto da Motta; RUSCHEL, Regina Coeli. A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo. SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital, 22 – 24 Noviembre, 2017 – Concepción, Chile.

[18] GUREVICH, Ury; SACKS, Rafael. Integrated Virtual Reality and Discrete Event Simulation Methods for Production System Research in Construction. Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 30-31 October 2013, London, UK.

[19] HAUTSCH, Oliver. Como funciona a Realidade Aumentada. 19 de maio, 2009. Disponível em: https://www.tecmundo.com.br/realidade-aumentada/2124-como-funciona-a-realidade-aumentada.htm. Acesso em: 23 mar. 2018.

[20] HOU, L.; WU, S.; ZHANG, G.; TAN, Y.; WANG, X. Literature Review of Digital Twins Applications in Construction Workforce Safety. Appl. Sci. 2021, v.11, p.339.

[21] HURRION, R. D. The design, use, and required facilities of an interactive visual computer simulation language to explore production planning problem. PhD Thesis.Univ. of London, London, 1976.

[22] LEE, J. A. N. Computer Pioneers - Ivan Edward Sutherland, IEEE Computer Society History Committee IEEE, 2013. Disponível em: https://history.computer.org/pioneers/sutherland.html Acesso: 24 mar. 2021.

[23] LI, Heng; MA, Zhiliang; SHENA, Qiping; STEPHEN, Kong. Virtual experiment of innovative construction operations. Automation in Construction, v. 12, p. 561– 575, 2003.

[24] LIM, Y.W. et al. Computational BIM for green retrofitting of the existing building envelope. WIT Transactions on The Built Environment, Southampton, UK, v. 192, n. 1, p. 33–44, 2019.

[25] MARCELINO, Ana Raquel Andrade; COSTA, Deborah Campolina; MARTINS, Matheus Henrique; ALMEIDA, Maria Aparecida Fernandes. Simulação em 3D de uma linha de embalagem de carretéis MIG/MAG usando o software SIMIO. Brazilian Journal of Business, Curitiba, v. 2, n. 2, abr./jun. 2020.

[26] MASLESA, Esmir; JENSEN, Per Anker. Drivers for IWMS implementation in real estate management. Journal of Corporate Real Estate, v. 21, n. 1, p. 72-87, 2019.

[27] MOTAMEDI, Ali; HAMMAD, Amin; ASEN, Yoosef. Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management. Automation in Construction, v. 43, p. 73–83, 2014.

[28] OCULUS. Oculus Rfit. 2017. Disponível em: https://www.oculus.com/rift/

[29] POETKER, Bridget. What Is Virtual Reality? (+3 Types of VR Experiences), September 6, 2019. Disponível em: https://learn.g2.com/virtual-reality. Acesso em: 26 mar. 2021.

[30] ROJEK, I.; MIKOŁAJEWSKI, D.; DOSTATNI, E. Digital Twins in Product Lifecycle for Sustainability in Manufacturing and Maintenance. Appl. Sci. v. 11, p. 31, 2021. https://dx.doi.org/app11010031

[31] RUBMANN, M.; LORENZ, M.; GERBETH, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group, April 2015.

[32] SHI, Yangming; DU, Jing; WORTHY, Darrell A. The impact of engineering information formats on learning and execution of construction operations: A virtual reality pipe maintenance experiment. Automation in Construction, v. 119, 2020.

[33] TROPIA; C.E. Z.; SILVA, P. P.; DIAS, A. V. C., Indústria 4.0: uma Caracterização do Sistema de Produção. XVII Congresso Latino-Iberoamericano da Gestão da Tecnologia (ALTEC 2017), México, 2017.

[34] TURNER, Christopher J.; HUTABARAT, Windo; OYEKAN, John; TIWARI, Ashutosh. Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. IEEE Transactions On Human-Machine Systems. v. 46, n. 6, December 2016.

[35] VENTURELLI, Márcio. A Internet das Coisas na Indústria 4.0. 24 janeiro, 2018. Disponível em: https://www.automacaoindustrial.info/internet-das-coisas-na-industria-4-0/. Acesso em: 23 mar. 2018.

[36] WALY, Ahmed F.; THABET, Walid Y. A Virtual Construction Environment for preconstruction planning. Automation in Construction, v. 12, 2002, p. 139– 154.

[37] WANG, Xiangyu; DUNSTON, Phillip S. User perspectives on mixed reality tabletop visualization for face-to-face collaborative design review. Automation in Construction. v. 17, p. 399–412, 2008.

[38] WIJEKOON, Christaline; MANEWA, Anupa; ROSS, Andrew David. Enhancing the value of facilities information management (FIM) through BIM integration. Engineering, Construction and Architectural Management. Emerald Publishing Limited, v. 27, n. 4, p. 809-824, 2020.

[39] WOLFARTSBERGER, Josef. Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review. Automation in Construction, v. 104, p.27-37, August, 2019.

[40] ZHANGA, Yuxuan, LIU, Hexu; KANGA, Shih-Chung; AL-HUSSEINA, Mohamed. Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. Automation in Construction, v. 118, 2020.

Capítulo 8

A modelagem do conhecimento da construção (BKM) e o BIG DATA BIM

Maria Aparecida Fernandes Almeida
Everaldo Bonaldo

Resumo: A Modelagem da Informação da Construção (BIM) como tecnologia oferece maior consistência aos dados na construção civil. No entanto, os sistemas BIM devem incorporar conhecimentos não técnicos e não geométricos associados aos dados construtivos. Dados e conhecimento da construção em redes compartilhadas em tempo real, formam o Big Data BIM. É sempre um problema desenvolver sistemas que processem a captura de diferentes dados digitais, que se expandem ao longo do tempo com a adição de mais casos e transformam o conhecimento humano em conhecimento de máquina ao longo do ciclo de vida de uma edificação. Adquirir experiências de problemas, soluções de casos operacionais, aprender as soluções avaliadas para uso posterior na resolução de novos problemas é um campo dos sistemas de conhecimento. Essas ferramentas especiais incorporadas com técnicas de inteligência artificial são aplicações mais próximas do mundo real. Sistemas de conhecimento são robustos permitindo uma melhor exploração e análise do Big Data. Neste novo cenário, o conceito de BIM estende-se à Building Knowledge Modeling (BKM). As aplicações de Sistemas de Inteligência Artificial podem explorar o Big Data BIM ajudando a transformar as decisões no projeto, construção e operação de edifícios. Este trabalho tem como objetivo apresentar dados os digitais que relacionados aos princípios de aplicação do Big Data e o BKM.

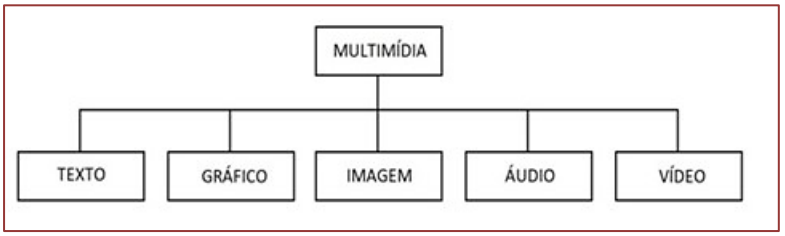
Palavras-chave: Building Information Modeling; Building Knowledge Modeling; Big Data.

1. INTRODUÇÃO

Os dados digitais, manipulados em computador, em geral são divididos na literatura em dados digitais **estruturados** e dados digitais **não estruturados**. Os dados estruturados são mais conhecidos como dados relacionais, baseados em texto armazenados de maneira a permitir que sejam acessados e consultados de acordo com um padrão estabelecido. Os dados relacionais são armazenados em uma estrutura matemática bem definida, com regras e padrões oficiais para acessá-los e manipulá-los. Esta definição de estrutura não é adequada, visto que, no mercado, existem bancos de dados que armazenam dados de texto que estão em conformidade com outros padrões. Na visão tradicional dados digitais não estruturados são apenas quaisquer dados binários. Entretanto, nem sempre isso ocorre, pois é possível armazenar dados não estruturados em uma coluna de uma tabela relacional, estruturada.

Um componente importante do complexo mundo de dados é a multimídia, que contêm uma série de meios divididos conforme mostrado na Figura 1:

Figura 1 – Tipos de dados



Fonte: elaborado pela autora

Os dados multimídia são:

- Texto: Texto contínuo, texto estruturado, coleção de textos, rótulos etc.
- Gráfico: Mapas de cidades, roteiros, desenho técnico, gráficos 3D, etc.
- Imagem: Fotografias, imagens de satélite, imagem de Raio X etc.
- Áudio: Voz, música, sons, sons de animais, sons sintéticos etc.
- Vídeo: Filmes, animações, anúncios, conferências telemáticas, etc.

Apenas dizer que os dados de texto são estruturados e os dados binários não são estruturados não é suficiente, pois um arquivo de texto (bloco de notas) pode conter um conjunto aleatório de caracteres sem definição, regras ou conformidade com qualquer padrão. Um formato de dados binários também pode seguir regras estabelecidas e ser de padrão aberto. Por exemplo, o formato de imagem digital JPEG é um padrão aberto, assim como o MPEG é um padrão aberto para dados de vídeo.

2. CLASSIFICAÇÃO ATUALIZADA DOS TIPOS DE DADOS

Há uma grande quantidade de dados não estruturados no mundo real que precisa ser gerenciada. Nos últimos dez anos, a maioria das organizações começou a reconhecer que há necessidade de gerenciá-los e compreendê-los. Como dados não estruturados se referem a qualquer coisa que não esteja em forma rigorosamente definida; pode se tornar difícil lidar com isso. O pensamento tradicional tem sido apenas tratá-los como um "*blob*" (grande objeto binário), mas com uma maior compreensão da variedade de tipos de dados não estruturados existentes, a necessidade de gerenciá-los aumentou (DECKLER, 2019).

Segundo Kratochvil (2013) os dados podem ser classificados da seguinte forma:

- **Dados Estruturados**: os dados estruturados são quaisquer dados armazenados em um sistema bem definido e sem propriedade. Estes dados são principalmente baseados em texto. Os dados estruturados são qualquer coisa que tenha uma composição imposta aos tipos de dados atômicos. Estão em conformidade comum a especificação bastante formal de tabelas com linhas e colunas. As fontes destes dados são encontradas em bancos de dados relacionais.

- **Dados Não estruturados**: são os dados binários não proprietários. Tais dados podem não estar organizados em tabelas simples com linhas e colunas. Nestes estão incluídos itens como vídeos, áudio, imagens e texto. O processamento de texto, documentos, e-mails, publicações em mídias sociais e páginas da web também são exemplos de dados, em grande parte, não estruturados. Os dados não estruturados podem incluir dados armazenados em bancos de dados de documentos, bancos de dados de gráficos e armazenamentos de chave-valor - constituintes dos denominados bancos de dados NoSQL.

- **Dados Semiestruturados**: Os dados semiestruturados são quaisquer dados armazenados em um sistema que esteja em conformidade com algumas regras e podem até serem proprietários. Estes dados são principalmente baseados em texto. Os dados semiestruturados têm uma estrutura, mas não estão em conformidade com os requisitos formais da definição de dados estruturados, ou seja, tabelas com linhas e colunas. Exemplos de dados semiestruturados incluem arquivos de texto tabulados e delimitados, como as linguagens de marcações de texto. As fontes de dados semiestruturadas têm uma autodefinição estrutural que os torna mais fáceis de consumir e analisar do que fontes de dados não estruturadas. Os dados semiestruturados incluem protocolos de acesso a dados. Estes protocolos fornecem interfaces para acesso a fontes de dados em sistemas de compartilhamento, em sistemas de mídia social e em outros sistemas online. Os protocolos de dados abstraem como os dados são armazenados, seja por um banco de dados relacional, um banco de dados NoSQL ou simplesmente uma série de arquivos.

- **Dados Estruturados bem definidos**: são dados em formato determinado, em geral, binários que estão bem definidos e em conformidade comum padrão estabelecido.

- **Dados Não Estruturados bem definidos**: Multimídia também é conhecida como mídia rica (*rich media*). Não se limita apenas aos tipos identificados na Figura 1. Ao dividir a multimídia em seus componentes fundamentais, é possível classificar esses tipos de multimídia e depois desenvolver novos tipos a partir dele. Estes novos tipos podem incluir, por exemplo, objetos tridimensionais de um projeto BIM, dados de simulação e dados de uma rede neural.

A Figura 2 apresenta o conjunto de dados em graus de estruturação e superposição.

Figura 2 - Conjunto dos dados

Fonte: Adaptada de Kratochvil (2013)

O desafio é que, mesmo com base nessas definições, alguns dados se encaixam em uma ou outra definição. Em geral é o que se encontra ao lidar com dados não estruturados. Não há definição concisa.

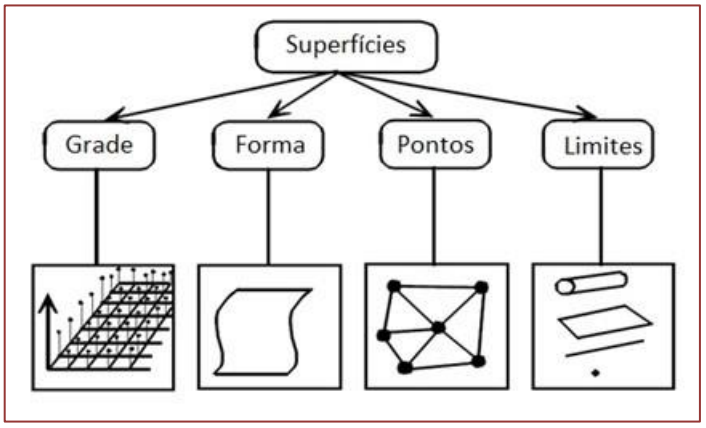
Concordando com Kratochvil (2013) pode ser dito que dados não estruturados são dados estruturados que ainda não foram definidos corretamente.

Ainda existem muitas incógnitas sobre dados não estruturados. A recente introdução no mundo da computação quântica, usando bits para armazenar informações, indubitavelmente empurrará o campo do gerenciamento de dados não estruturados para novas áreas.

Há uma sobreposição entre o mundo bidimensional e o mundo tridimensional, assim como entre dados estruturados e dados não estruturados de multimídia. Os dois são dependentes um do outro em algum momento, mas eventualmente com melhorias na tecnologia isso pode mudar. As regras formuladas hoje podem mudar amanhã.

Quando o mundo bidimensional atingiu um estágio de ser bem compreendido com ajuda da geometria, o foco foi transferido para o mundo tridimensional real. O mundo tridimensional provou ser muito mais complexo incluindo o estudo de grades, pontos, nós, limites, simetria, superfícies e formas curvas (vide Figura 3).

Figura 3 – Superfícies



Fonte: Adaptada de (KRATOCHVIL, 2013)

Segundo Kratochvil (2013) algumas das regras bidimensionais fluíram para o mundo tridimensional, mas outras não. Nesta analogia, os dados não estruturados estão no mundo tridimensional tornando-se necessário compreendê-los. Assim como não existe um entendimento completo da geometria tridimensional, também não há uma compreensão completa dos dados não estruturados. É uma disciplina em crescente evolução à medida que mais informações e experiências são reunidas, testadas e aprendidas.

A explosão quantitativa e múltiplos formatos de dados digitais (imagem, som, transação, texto etc.) nos fez classificar os dados como *Big Data* (BgD). BgD são conjuntos de dados tão grandes que dificultam o processamento usando ferramentas tradicionais "clássicas" de gerenciamento de banco de dados.

3. DADOS, INFORMAÇÕES E CONHECIMENTO EM BIM

Um modelo de um prédio produzido por uma ferramenta BIM pode suportar várias visualizações de diferentes dados contidos em um conjunto de desenhos, incluindo 2D e 3D. Os modelos BIM contêm informações geométricas e não geométricas sobre um projeto. As informações geométricas incluem tamanho, volume, forma e relações espaciais, enquanto informações não geométricas incluem o tipo de componente particular de uma construção, especificações de material, cronograma da construção, custo. Entretanto, as informações não geométricas podem incluir outras especificações em um projeto. Há informações semânticas de relacionamentos entre componentes, tais como nas relações de dependência, topologia e nas informações conjuntas.

Schlueter e Thesseling citado por LU; LAI e TSE (2019) sugeriram outra taxonomia de informações BIM para incluir informações geométricas, semânticas e topológicas:

- Informações **geométricas**: estão diretamente relacionadas à forma de construção em três dimensões;
- Informações **semânticas**: descreve as propriedades dos componentes (ou seja, regras e funções da informação);
- Informações **topológicas**: captura as dependências entre os componentes. A topologia é uma abstração e pode ser definida como um conjunto de informações obtidas a partir da descrição geométrica completa de um objeto. As entidades topológicas que representam as entidades geométricas pontos, curvas e regiões são, respectivamente, vértices, arestas e faces.

Xue et al. citado por LU; LAI e TSE (2019) argumentam que geralmente existem dois tipos de informações semânticas contidas no BIM:

- Informações semânticas individuais dos componentes da construção: que incluem informação geométrica como tamanho, posição, forma e texturas;
- Informações semânticas não geométricas, tais como tipos, especificação de materiais e significados de funções.

Para BIM a divisão entre dados brutos, informação e conhecimento é muito mais complexa... Independentemente da classificação, a semântica das informações BIM são

invariavelmente importantes.

Um modelo de construção pode ser descrito por seu conteúdo (quais objetos ele descreve) ou seus recursos (que tipos de requisitos de informação podem ser de suporte). Os objetos dos processos BIM são modelos de construção, ou modelos BIM. Segundo Sacks et al. (2018) tais modelos de construção são caracterizados por:

- Construção de componentes representados por objetos digitais que carregam atributos de dados e gráficos computáveis que os identificam em aplicativos de software com regras paramétricas que permitem sua manipulação.
- Componentes que incluem dados que descrevem seu comportamento para análises e processos de trabalho, tais como especificação de quantidades, análises de energia, etc.
- Dados consistentes e não redundantes, de modo que as alterações nos dados de um componente sejam representadas em todas as visualizações do mesmo e nas montagens das quais ele faz parte.

A transformação de dados em informação é um processo. O processo de definição de relações entre dados requer conhecimento.

Informação + Experiência = Conhecimento

Por exemplo, para se construir uma escada é necessário possuir o conhecimento para se colocar as barras verticais sobre as horizontais. O conhecimento pode ser organizado em:

- Conhecimento **explícito**: o conhecimento que pode ser formalizado ou escrito na forma que qualquer um possa entender.
- Conhecimento **implícito**: não pode ser expresso facilmente, mas é entendido por um indivíduo.

As tomadas de decisão envolvem ambos os tipos de conhecimento. O conhecimento explícito necessita ser organizado e registrado de maneira que se torne utilizável pelos membros da organização que não o possuem.

O conhecimento pode ser visto como uma capacidade que possivelmente tem impacto em ações futuras, tais como usar, interpretar e selecionar informações úteis para a tomada de decisões. Apesar da hierarquia de dados e informações, o conhecimento não pode ser definido com clareza. O objetivo da coleta de dados é extrair informações úteis e criar conhecimento para apoiar decisões informadas.

Uma outra visão é definir o conhecimento como informação processada pela mente humana como fatos, conceitos, ideias, julgamentos e interpretações da informação. Particularmente, o conhecimento é percebido ou criado pelo processamento de dados e informações incorporados ao pensamento humano. Entretanto, atualmente, o conhecimento tem sua extensão nas máquinas com os denominados **Sistemas de Conhecimento** (SC) que fazem uso das técnicas de Inteligência Artificial (IA*).* A IA é uma área da Ciência da Computação que envolve o aprendizado de máquina que visa reproduzir computacionalmente a capacidade cognitiva.

4. BIG DATA BIM E O SISTEMAS BKM

O termo *Big Data* (BgD) é usado para denominar grandes volumes de dados que ultrapassam os limites dos programas convencionais. Esses dados geralmente não são estruturados e podem se originar de uma ampla variedade de fontes: publicações em mídias sociais, e-mails, arquivos eletrônicos com conteúdo multimídia, consultas em mecanismos de pesquisa, repositórios de documentos em sistemas de gerenciamento de conteúdo, dados de vários tipos sensores, evolução da taxa nas bolsas de valores, fluxo de tráfego de dados, imagens câmeras e de satélites, medidores inteligentes em eletrodomésticos, pedidos, compras e processos de pagamento em lojas on-line, aplicativos eletrônicos na área de saúde, sistemas de monitoramento etc. (MEIER; KAUFMANN, 2019).

O BgD é sumarizado como v's: volume (grandes quantidades de dados), variedade (vários formatos, dados estruturados, semiestruturados e não estruturados) e velocidade (processamento em alta velocidade e em tempo real).

Segundo Meier e Kaufmann (2019) todo o uso de aplicativo de BgD requer o gerenciamento de outros Vs:

- **Volume**: há uma quantidade enorme de dados envolvidos, variando de *tera* a *zetabytes*;
- **Variedade**: envolve o armazenamento de dados estruturados, semiestruturados e não estruturados de multimídia (texto, gráficos, imagens, áudio e vídeo);
- **Velocidade**: os aplicativos devem ser capazes de processar e analisar fluxos de dados em tempo real à medida que os dados são coletados;
- **Valor**: o BgD pode ser considerado ativo de informação. Os aplicativos de BgD visam aumentar o valor da empresa, de modo que são feitos investimentos em pessoal e infraestrutura técnica para gerar valor agregado;
- **Veracidade**: como muitos dados são vagos ou imprecisos são necessários algoritmos específicos para avaliação da validade e qualidade dos resultados. Grandes quantidades de dados não significam automaticamente melhores análises. A veracidade é um fator importante no BgD, onde a qualidade dos dados disponíveis das variáveis deve ser levada em consideração nas análises. Além de métodos estatísticos, existem métodos da Inteligência Artificial, como a Lógica Nebulosa (*fuzzy logic*) que atribuem um valor de verdade entre 0 (falso) e 1 (verdadeiro) a qualquer resultado ou declaração (bancos de dados nebulosos).

O BgD é um fator importante no desenvolvimento do BIM, pois este envolve amplamente dados estruturados acessados em vários bancos de dados. No entanto, há um grande volume de dados / informações não estruturados trocados na indústria da construção por meio de texto entre membros de equipes. Com o uso da computação em nuvem e soluções baseadas em SC, o volume desses dados tende a aumentar, necessitando de ferramentas de análise que permitam um melhor uso de uma variedade de dados capturados.

As principais motivações para uso de técnicas para análise de BgD também são devidas a alguns problemas percebidos com a expansão do uso de BIM:

- **Aumento do volume de dados**: armazenamento em *terabytes* de dados por construção por ano, a coleta em tempo real, a análise e interação de dados BIM;
- **Armazenamento adequado dos dados**: os dados BIM são essencialmente um banco de dados que contém dados alfanuméricos, geométricos, dados baseados em informações de projeto e relações espaciais e topológicas da construção. São necessários vários componentes para se conseguir um armazenamento apropriado que suporte todos esses diferentes dados e a relação entre os eles;
- **Dificuldade de acesso devido a diversidade dos tipos de dados:** os bancos de dados BIM contêm vários tipos de dados. Existe uma "mistura" de dados estruturados e não estruturados que devem ser recuperados, tratados e analisados por diferentes ferramentas;

- **Uso de métodos proprietários de acesso aos dados**: o esforço necessário para acessar os dados varia de métodos relativamente simples, que são limitados por interfaces predefinidas e ferramentas, a métodos complexos por meio das Interface de Programação de Aplicativos (API). Usar uma API padrão de um desenvolvedor de software na maioria das vezes é a única maneira de acessar os dados. Cada desenvolvedor de software fornece suas respectivas ferramentas e ir além da interface padrão para acesso adicional será fornecido por meio de uma API ou *script* (roteiro) pelo próprio fabricante. Além disso, como um dos mais valiosos ativos em qualquer banco de dados é o próprio conteúdo, o obstáculo que se deve superar para "minerar" os dados BIM é um problema que precisa ser considerado, segundo (SOLIHIN et al., 2017);
- ***Portabilidade*:** ferramentas de autoria em BIM são proprietários por natureza, o que significa que um aplicativo escrito para um produto não será aplicável a outro (sem portabilidade). Uma abordagem promissora para lidar com problema de disponibilidade de dados proprietários é usar um tipo de banco de dados que permita o acesso aos dados fora das APIs específicas do fornecedor. Um dos formatos neutros mais populares amplamente usados na arquitetura, engenharia e construção é o da *Industry Foundation Classes* (IFC)(LEE; EASTMAN; SOLIHIN, 2018). Diversos fabricantes de sistemas aplicam o esquema IFC como um formato de troca de dados BIM;
- **Sincronização de dados heterogêneos**: a maior preocupação com a informação no BIM é sua heterogeneidade. Diferentes profissionais exigem distintos programas para criar, manipular, analisar e aplicar diversos modelos de dados da construção para alcançar seus objetivos particulares;
- **Integração:** deve ser considerada a quantidade de troca de dados e informações na compatibilização e compartilhamento de projetos BIM. Essas informações e dados heterogêneos devem ser mantidos de forma consistente em diversos tipos de domínios, fases e software para compartilhamento de um conjunto correto de modelos na sincronização.

Em geral, a análise de BgD processa os dados não estruturados incluindo várias técnicas como mineração de dados, busca e otimização. Segundo (LV et al., 2020) as análises usando BgD no setor da AECO são úteis, por exemplo, para:

- Criação de cidades inteligentes através do uso de cidades digitais 3D: O BIM está associado à integração espacial e a semântica de informações sobre os vários estágios das construções urbanas, ou seja, projeto arquitetônico, construção, operação e gerenciamento. Além disso, a integração do BIM e da cidade digital tridimensional (3D) pode reduzir bastante os custos de aquisição de informações sobre o espaço interior de edifícios, rompendo as limitações da demonstração dos modelos de superfície arquitetônicos externos, promovendo a integração de aplicações em espaços internos e externos e ainda facilitando o desenvolvimento de cidades inteligentes por meio de cidades digitais;
- Análises de aglomerações urbanas para o desenvolvimento sustentável; aspectos sociais dos espaços humanos (projetos de mobilidade, promoção de redes sociais, expansão da participação política, incentivo ao empreendedorismo); Projeto de

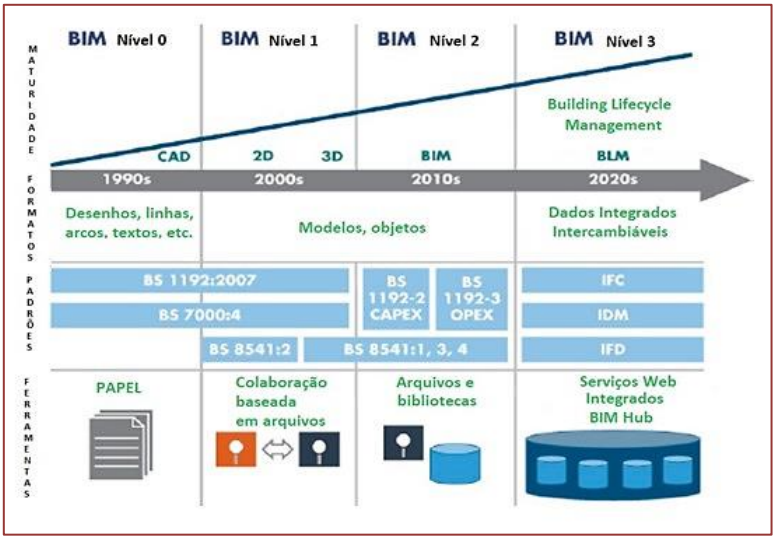
uso de sistemas inteligentes de abastecimento de água e energia; Proteção ao meio ambiente e aumento da segurança e qualidade de vida;

- Recuperação de dados geoespaciais: com o avanço da aquisição e recuperação de dados geoespaciais o volume destes está aumentando a todo minuto. As diversas aplicações de BIM em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (GIS) levam a diferentes padrões de dados.

Desde que o Grupo de Trabalho BIM do Reino Unido adotou o conceito de "Níveis de Maturidade BIM" (mostrado no gráfico da Figura 4) os quatro níveis (0 a 3) tornaram-se uma definição amplamente adotada de critérios para que um projeto seja considerado compatível com o BIM (SACKS et al., 2018). Sob o ponto de vista dos dados e informações observa-se na Figura 4 que nos anos 1990, no nível 0, os dados e informações eram estruturados na forma de desenhos, linhas e arcos, sem maturidade BIM, baseada em sistemas CAD e produção de documentos em papel. A partir dos anos 2000 no nível 1 a informação foi estruturada em modelos 2D e 3D armazenados em sistemas de arquivos e banco de dados. A colaboração no nível 1 era baseada em troca de arquivos. A partir de 2010 surge o Nível 2 com modelos 2D e 3D compartilhados em arquivos e bibliotecas de objetos BIM. Já no nível 3 são necessários os sistemas de informação em rede com serviços, para integrar também dados não estruturados, informações intercambiáveis de todo ciclo de vida da construção. A partir dos anos 2020 pode-se esperar que um grande *hub* comporá um *Big Data BIM*.

Diferentes tipos de informações são gerados ao longo das várias fases do ciclo de vida da construção, incluindo a manutenção dos vários sistemas complexos construtivos.

Figura 4 – Níveis BIM



Fonte: SACKS et al. (2018)

Como a geração e coleta de informações de construção é geralmente fragmentada, criada sobre o ciclo de vida do edifício por equipes diferentes com objetivos diferentes, armazenados em diferentes sistemas, em tempos diferentes, a integração dessas informações é um processo complexo. Este processo indica a relevância do *Big Data* (BgD) para a indústria da construção, principalmente em relação ao volume e variedade de

dados onde dados estruturados e não estruturados estão sendo gerados para cada projeto de construção.

Para transformar meros dados e informações em conhecimento útil provido pela máquina os SC são promissores, porque a "chave" da modelagem da construção da atualidade deixa de ser a informação e passa a ser o conhecimento (humano, de máquina, organizacional). Assim a denominação *Building Knowledge Modeling* (BKM), ou Modelagem do Conhecimento na Construção (BCC) parece ser mais adequada abrangendo além de dados e informações, as melhores práticas no denominado *Building Life Management* (BLM). Para lidar com a complexidade do BKM os SC que exploram "adequadamente" os BgD BIM certamente são promissores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para aplicações envolvendo a simulação da experiência e conhecimento humanos, complexos, imprecisos, incompletos e contraditórios, é importante que os sistemas inteligentes combinem diferentes técnicas. Isto parece ser algo que cérebros já fazem naturalmente. O desenvolvimento de aplicações que suportem tarefas de categorização e cognição, dado as suas complexidades e a contínua interação de dois tipos de conhecimento, modelos mentais e conhecimento baseado em experiências, tendem a ter um sucesso maior e um ganho de performance quando integramos diferentes técnicas de IA.

Os sistemas permitem que os usuários executem ações que obviamente não são racionais no contexto do projeto de construção, portanto, por exemplo, um usuário pode mover uma coluna a uma distância muito grande e a viga suportada ainda se estenderá às ações que ainda estão faltando nos modelos BIM. A "inteligência" nas plataformas BIM existentes é expressa no modelo paramétrico e no comportamento de intenção do projeto que mantém sua integridade.

Segundo (BLOCH; SACKS, 2018) "... Um sistema de computador ideal para Modelagem da Construção deve ser integrado, inteligente e compatível. Os modelos inteligentes são os capazes de manter a integridade semântica".

Passar dos desenhos CAD "ignorantes" para o BIM não significa que os modelos BIM sejam "inteligentes". Os modelos BIM consistem em elementos "cientes" de suas propriedades e de seus relacionamentos com outros elementos, e pode-se argumentar que esses modelos são, em certa medida, inteligentes. Por exemplo, se alguém mover uma coluna em um modelo, qualquer viga suportada pela coluna deve estender ou encurtar de acordo. Por outro lado, usando o mesmo exemplo, também podemos argumentar que os modelos permanecem "ignorantes".

A literatura sobre Inteligência Artificial, no entanto, sustenta que tornar uma máquina verdadeiramente "inteligente" exige incorporar não apenas conhecimento sobre o mundo físico, mas também o que é conhecido como "conhecimento do senso comum", que é o conhecimento geral sobre o mundo. Este tipo de conhecimento é natural para um ser humano. É usado para tarefas como processamento de linguagem e visão computacional, mas geralmente está ausente nas plataformas BIM. Por exemplo, se um modelador deixar de colocar um corrimão em uma varanda, nenhuma objeção ou aviso será levantado, a menos que uma rotina de verificação de regras criada com o objetivo seja invocada. No entanto, para um especialista humano, o erro é imediatamente óbvio. Se a largura da abertura para a lavanderia não for grande o suficiente para passar uma

máquina de lavar, entendemos que isso é uma falha de projeto, embora nenhum alerta seja feito pela plataforma BIM. Como sistemas orientados a objetos, as ferramentas BIM incluem representação de objetos, suas propriedades e os relacionamentos entre os mesmos, mas ainda estamos longe de poder nos referir às ferramentas BIM como sendo inteligentes (BLOCH; SACKS, 2018).

Os modelos 3D que contêm apenas dados 3D (métricos) não são modelos BIM. Isso significa que um modelo gerado a partir de nuvens de pontos não é um BIM, a menos que (1) inteligência paramétrica, (2) relacionamentos e (3) atributos sejam adicionados. A inteligência paramétrica significa que um objeto (como paredes, portas e janelas) pode ser encapsulado no projeto e modificado com uma configuração simples de suas dimensões em um banco de dados do projeto. Objetos diferentes são consistentes (por exemplo, uma porta se encaixa em uma parede) para remover informações redundantes e erros de projeto; uma mudança em um objeto específico também deve modificar os objetos com os quais ele tem uma interação direta. Por outro lado, atributos são recursos adicionais que descrevem as propriedades de elementos estruturais, como materiais de componentes e dados de energia. A inserção de técnicas de IA em software BIM auxilia na implementação da capacidade cognitiva que ao aprender erros e verificar incompletudes se comportaria como um "modelador".

No BIM para extrair informações de um diretório distribuído no modelo relacional, precisaríamos consultar múltiplas fontes de dados e integrar as informações em um ponto específico antes de apresentar as respostas ao usuário, o que poderia, dependendo da situação seria impossível... O uso de ferramentas de mineração de dados em armazéns com uso de técnicas da IA para tratar a complexidade do Big Data produzido pelo BIM tem permitido a elaboração das consultas com relativo sucesso na obtenção das respostas. Além disso, este ferramental "inteligente" tem indicado que mais questionamentos sobre dados possam ser feitos, com rapidez e eficiência.

A variedade disponível de ferramentas de coleta de dados que coletam dados sobre desempenho e comportamento das operações, pode fornecer grandes quantidades dados de construções existentes, não existentes e das equipes de projetos. Tais ferramentas podem fornecer dados granulares em tempo real sobre padrões de utilização que podem melhorar a manutenção de serviços e operações das construções.

REFERÊNCIAS

[1] BLOCH, T.; SACKS, R. Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of bim models. Automation in Construction, Elsevier, v. 91, p. 256–272, 2018.

[2] DECKLER, G. Learn Power BI. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2019.

[3] KRATOCHVIL, M. Managing Multimedia and Unstructured Data in the Oracle Database. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2013.

[4] LEE, Y.-C.; EASTMAN, C.M.; SOLIHIN,W. Logic for ensuring the data exchange integrity of building information models. Automation in Construction, v. 85, p. 249–262, 2018.

[5] LU,W.; LAI, C. C.; TSE, T. BIM and big data for construction cost management. Abingdon, Oxon: Routledge, 2019.

[6] LV, Z. et al. BIM Big Data Storage in WebVRGIS. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 16, n. 4, p. 2566–2573, April 2020.

[7] MEIER, A.; KAUFMANN, M. SQL & NoSQL Databases Models, Languages, Consistency Options and Architectures for Big Data Management. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2019.

[8] SACKS, R. et al. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling For Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. New York: Wiley, 2018.

[9] SOLIHIN, W. et al. A simplified relational database schema for transformation of BIM data into a query-efficient and spatially enabled database. Automation in Construction, n. 84, p. 367––383, October 2017.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson